



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

мр Иван Петровић

**ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМИ У ФИЗИЦИ:  
МЕТОДОЛОГИЈА И РЕАЛИЗАЦИЈА**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2016 године

## ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

### ***I Аутор***

Име и презиме: Иван Д. Петровић

Датум и место рођења: 30.08. 1972. Крагујевац

Садашње запослење: Висока техничка школа струковних студија, Крагујевац

### ***II Докторска дисертација***

Наслов: Експертни системи у физици: методологија и реализација

Број страница: 104

Број слика: 34

Број табела: 8

Број библиографских података: 54

Установа и место где је рад израђен: Природноматематички факултет (ПМФ), Крагујевац;

Научна област (УДК): 004.891:53

Ментор: др Валериј Бочварски

### ***III Оцена и одбрана***

Датум пријаве теме: 10. 06. 2016. године

Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације:

-Одлука ПМФ-а, Универзитета у Крагујевцу број 25/80 од 02. 07. 2015. године

-Одлука Стручног већа за Природно математичке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-01-319/11 од 10. 06. 2016. године.

Комисија за оцену подобности теме и кандидата:

-Одлука ПМФ-а, Универзитета у Крагујевцу, број 450/X-1 од 06.05.2015. године

1. Др Валериј Бочварски, редовни професор ПМФ-а у Крагујевцу у пензији, н.о. атомска, молекулска, хемијска и оптичка физика
2. Др Владимир Ристић, редовни професор ПМФ-а у Крагујевцу, н.о. атомска, молекулска и оптичка физика
3. Др Братислав Маринковић, научни саветник, Институт за физику, Земун, н.о. атомска, молекулска и оптичка физика

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:

-Одлука ПМФ-а, Универзитета у Крагујевцу, број 130/X-1 од 10. 02. 2016. године

1. Др Братислав Маринковић, научни саветник, Институт за физику, Земун, н.о. атомска, молекулска, хемијска и оптичка физика
2. Др Владимир Ристић, редовни професор ПМФ-а у Крагујевцу, н.о. атомска, молекулска и оптичка физика
3. Др Драгослав Никезић, редовни професор ПМФ-а у Крагујевцу, н.о. радијациона физика

Датум одбране дисертације: \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ . 2016. године

Ова дисертација је урађена на Институту за физику Природно-математичког факултета, Универзитета у Крагујевцу.

Аутор посебну захвалност жели да изрази члановима комисије, др Братиславу Маринковићу, проф др Владимиру Ристићу и проф др Драгославу Никезићу на несебичној подршци и непроцењивој помоћи пруженој приликом израде ове дисертације.

*Рад посвећујем успомени на профеога Валерија Бочварског са којим сам сарађивао дуги низ година. Из те сарадње проистекла је моја магистарска теза, радови и на крају ова докторска дисертација. Посебно сам поносан на четврто поглавље које је у ову дисертацију унело дух филозофије који је професор толико волео.*

*Мојој Виолети.*

*Велико хвала на помоћи и подршци.*



## СПИСАК ОЗНАКА:

A	активност
АД	аналогно дигитални конвертор
$\alpha$	алфа распад
БЗ	база знања
$\beta^-$	бета минус распад
$\beta^+$	бета плус распад
$W(Z,N)$	енергија везе по нуклеону
ВИ	вештачка интелигенција
$\gamma$	гама распад
ДА	дигитално аналогни конвертор
$D(k)$	the span, big-to-small distance
e	електрон
$e^+$	позитрон
ЕС	експертни систем
$E_i$	енергија датог канала
ESBT	Expert System Building Tool
$I$	интензитет посматраног пика
KBS	Knowledge Based System
$k$	дужина суме
$K_p$	почетни канал опсега ширине пика
$K_k$	крајњи канал опсега ширине пика
KeV	кило електрон волти
$\lambda$	константа радиоактивног распада
m	маса узорка
$m_p$	маса протона
$m_n$	маса неутрона
$M(Z, N)$	маса језгра
МЗ	механизам закључивања
MeV	мега електрон волти
$N$	укупан број пикова
N/P	однос броја неутрона и протона
$\nu$	неутрино
OAB	објекти, атрибути и вредности атрибута објеката
$O_i$	одброј на датом каналу
PRL	Production Rule Language
$p$	принос за дати елемент
P	притисак
S/N	сигнал/шум
$S_n$	парцијална сума
t	време мерења
$T_{1/2}$	време полураспада
CF	фактор поузданости (Certainty Factor)
$C_i$	одброј на датом каналу
$c_{ref}^0$	јединични референтни одброј
$\frac{W(Z,N)}{(Z+N)}$	енергија везе по нуклеону
Z	атомски (редни) број

$\Delta X$	укупна ширина датог пика
$\Delta X_d$	десна ширина датог пика
$\Delta X_l$	лева ширина датог пика
$\Delta E_{res}$	енергија резолуције
$\Delta E_{max}$	максимална грешка мерења
$E_{n-1}$	енергија суседног претходног (n-1) канала
$E_{n+1}$	енергија суседног следећег (n+1) канала
$\Delta E$	енергија по каналу
$\Delta M(Z,M)$	дефект масе

# СПИСАК СЛИКА

**Слика 1:** Основни елементи ВИ.

**Слика 2:** Дрво ВИ.

**Слика 3:** Развојни пут знања.

**Слика 4:** Основне компоненте ЕС.

**Слика 5:** Детаљнија структура ЕС.

**Слика 6:** Алгоритам уланчавања унапред.

**Слика 7:** Алгоритам уланчавања уназад.

**Слика 8:** Нерастући низ пикова.

**Слика 9:** Развој ЕС.

**Слика 10:** Аристотел.

**Слика 11:** Део спектра прагова  $N_2$ .

**Слика 12:** Промена броја пикова за анализу у зависности од изабраног броја пикова који се користе за процену односа,  $D(k)$  изражено преко: а) Укупног броја пикова за анализу, б) Процентуално.

**Слика 13:** Илустрација додатног смањења броја пикова.

**Слика 14:** Илустрација скраћења времена потребног за анализу.

**Слика 15:** График зависности  $B(Z, N)$  од  $A$ .

**Слика 16:** Енергетски график услова потребних за спонтани распад језгра.

**Слика 17:** а) Линија стабилности у зависности од броја неутрона и протона, б) Распади карактеристични за одређени однос  $N/P$ .

**Слика 18:** Графички приказ закона радиоактивног распада.

**Слика 19:** Илустрација распада.

**Слика 20:** Бета распад трицијума ( $^3\text{H}$ ). Горе, шематски приказ. Доле лево, енергетски дијаграм распада и доле десно, спектар емитованих електрона.

**Слика 21:** Редослед догађаја при позитронском распаду.

**Слика 22:** Редослед догађаја при електронском захвату.

**Слика 23:** Горе, шематски приказ процеса алфа распада. Доле десно, енергетски дијаграм прелаза и доле лево, спектар емитованих алфа честица.

**Слика 24:** Шема распада  $\text{Na}^{24}$ .

**Слика 25:** Гама спектар  $^{182}\text{Ga}$

**Слика 26:** Уранов низ.

**Слика 27:** Ефекат зрачења

**Слика 28:** Структура базе знања ЕС.

**Слика 29:** Спектар узорка узетог са локације “Пошта”, на дубини од 2 cm.

**Слика 30:** Шеме распада  $^{235}\text{U}$  и  $^{223}\text{Ra}$

**Слика 31:** Упоредни приказ снимљеног спектра и шума.

**Слика 32:** Спектар после прве корекције шума.

**Слика 33:** Спектар Еуропијума.

**Слика 34:** Одређивање резолуције.

# СПИСАК ТАБЕЛА

**Табела 1:** Упоредне карактеристике конвенционалних програма и експертних система.

**Табела 2:** Упоредне карактеристике експерта и ЕС.

**Табела 3:** Табела смањења пикова у анализу.

**Табела 4:** Део спектра Posta2.dbf .

**Табела 5:** Структура табеле са снимљеним спектром.

**Табела 6:** Део спектра снимљеног шума.

**Табела 6:** Део табеле се спектром Posta2.dbf.

**Табела 7:** Енергије најинтензивнијих линија  $^{152}\text{Eu}$ .

**Табела 8:** Структура табеле са резултујућим подацима.

# Садржај

Списак ознака	
Списак слика	
Списак табела	
Сажетак	
Summary	
<b>1 Увод</b>	<b>2</b>
<b>2 Вештачка интелигенција</b>	<b>5</b>
2.1 Системи засновани на знању	11
2.2 Прикупљање знања	14
<b>3 Експертни системи</b>	<b>16</b>
3.1 Историјски развој експертних система	19
3.2 Предности и ограничења експертних система	21
3.3 Алати за развој	22
3.4 Структура експертног система	25
3.4.1 Механизам закључивања	26
3.4.2 База знања	27
3.4.3 Радна меморија	28
3.4.4 Кориснички интерфејс	29
3.4.5 Продукциона правила	29
3.4.6 Уланчавање правила	31
3.4.7 Унапред или уназад	34
3.4.8 Развој експертног система	38
<b>4 Методологија и реализација експертних система</b>	<b>41</b>
4.1 Реализација	47
4.2 Апликација	50
4.3 Резултат	52
<b>5 Закон радиоактивног распада</b>	<b>59</b>
5.1 Бета распад	64
5.1.1 $\beta^-$ распад	65
5.1.2 $\beta^+$ распад	62
5.1.3 Електронски захват	67
5.2 Алфа распад	68
5.3 Гама распад	69
5.4 Фисија	71
5.5 Радионуклиди	72
5.6 Радиоактивни низови	73
<b>6 Експертни систем за анализу спектра природних радио-нуклида</b>	<b>76</b>
<b>7 Закључак</b>	<b>99</b>
Литература	<b>101</b>
Биографија	
Списак радова	
Радови проистекли из докторске дисертације	

# САЖЕТАК

Предмет истраживања ове дисертације је могућност примене експертних система у процесу анализе дискретних спектра из различитих области физике, као и анализа методолошке заснованости експертних система.

Циљеви постављен пред аутора ове докторске дисертације су били да:

1. Утврди методолошку заснованост експертних система кроз анализу могућности превођења силогистичке форме мишљења у форму правила, једног од најчешће коришћених градивних елемента експертних система.
2. Развије неке уопштене процедуре у процесу анализе спектра.
3. Развије експертни систем за анализу природних радио-нуклида.

Да би циљеви били остварени унапређене су и примењене постојеће, и развијене нове рутине. За развој експертног система коришћен је ESBT I2+, као и неки процедурални програми.

Рад је организован на следећи начин:

Прво поглавље је Увод који садржи општа запажања о експертним системима.

Друго поглавље уводи и дефинише појмове као што су вештачка интелигенција, знање, системи засновани на знању.

Трећи део „Експертни системи“ даје детаљни опис експертних система. Посебна пажња је посвећена продукционим правилима. Такође је дат приказ коришћеног алата, као и других који се могу користити.

У четвртном поглављу су представљени резултати рада кандидата. Методологија и реализација експертних система је описана. Разматрана је Аристотелова логика, као и силогизми који представљају најзначајније достигнуће Аристотелове логике.

Пети део садржи опис радиоактивног распада. Без много детаља приказани су различити механизми распада:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и фисија. Појмови изотоп, радионуклиди и радиоактивни нивои су дефинисани. Указано је на проблем вештачке радиоактивности.

Шесто поглавље такође представља оригинални истраживачки рад кандидата. Садржи детаљан опис развијеног експертног система. Предности примене експертних система у процесу анализе дискретних спектра природних радио-нуклида су дате.

# SUMMARY

The subject of research of this doctoral dissertation is possibility of expert system's application in a process of discrete spectra analysis in different area of physics, as well as the analysis of expert system's methodology.

The goals that were set to the author of this dissertation were to:

1. Determine the methodological foundation of the expert systems through analysis of a possibility of transformation of the syllogistic form in the form of rules which are the most used element for the building of the expert systems.
2. Develop some general procedures in the process of spectra analysis.
3. Develop the expert system for analysis of spectra of natural radionuclides.

To achieve these goals, we improved and applied the existing, and developed some new routines. For making expert system ESBT I2+ was used, as well as some procedural languages.

The text is organized as follows:

The first chapter is Introduction which contains general remarks about expert systems.

The second chapter introduced and defined terms such as artificial intelligence, knowledge based system, knowledge.

The third chapter "Expert systems" gives detailed description of expert systems. Special attention is dedicated to production rules. Also the used ESBT is presented, as well as some other tools which can be used.

In the fourth chapter the results of the candidate's work are presented. The methodology and realization of expert systems are described. Aristotle logic is considered, as well as syllogism as the most important achievement of Aristotle's logic.

The fifth chapter contains description of the radioactive decay. Without much detail it shows different decay's mechanisms:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and fission. The terms isotope, radionuclides and radioactive decays are introduced. The problem of artificial radioactivity is discussed.

The sixth chapter also presents the original research work. It contains detailed description of developed expert system. The advantages of expert system's application in the process of considered spectra analysis are described.



## 1. Увод

Експертни системи су компјутерски програми који користе људска знања и практична искуства како би решили конкретан проблем из дате области. Име су добили по томе што проблем треба да решавају на начин како би то експерт урадио, односно тако да имитирају мисаони процес експерта. Нашли су пут до многих области, тако да се могу поделити на оне научне, технолошке, комерцијалне. Како је спектар примене годинама постао веома широк са правом се може рећи да се бележи константан пораст интересовања за експертне системе.

Засновани су на знању тако да су питање знања и имплементација истог, кључна питања када се говори о експертним системима.

Знање је одувек било предмет интересовања филозофа, толико да постоји грана филозофије, епистемологија, која се бави проблемима знања. У ужем смислу епистемологија се бави питањима шта је знање, док у ширем обухвата питања која се односе на механизме стицања знања, као и на све оно што се односи на феномен спознаје и поседовања знања. Када се о знању говори са аспекта експертних система две ствари су кључне: представљање и прикупљање истог.

У експертном систему који је тема ове докторске дисертације коришћена су продукциона правила која су један од најчешће коришћених начина за представљање знања. Имају форму закључивања и корене у Аристотеловој логици, тачније силогизму који представља најзначајније „достигнуће“ Аристотелове логике. Управо је логичка заснованост продукционих правила била тема једног дела дисертације. Поред логичке (методолошке) заснованост, посебна пажња је посвећена практичној примени ових правила, имплементираних у конкретне експертне системе развијене за анализу дискретних спектра. Постављена је и описана општа методологија за формирање експертних система за анализу сложених дискретних спектра која се базира на формализму закључивања уназад. Кључне тачке ове методологије су заједничке и независне од врсте спектра. Специфичности анализе појединих се огледају у одређеним процедурама које су уграђене у поједине експертне системе.

Како је проблем загађења животне средине радионуклидима увек веома актуелан и интересантан, како са становишта превенције, тако и са становишта обавештености и деловања у случају контаминације средине, методологија анализе спектра из области

атомске и молекулске физике сударних процеса је базично примењена на анализу спектра природних радионуклида. Интересовање за ову врсту спектра је настало као последица свеprisутне природне радиоактивности, као и оне изазване људским фактором, посредно или непосредно. Основни захтев који се пред овако развијени експертни системи поставља је да убрза, аутоматизује и побољша интерпретацију резултата експеримената симулирајући при том активности експерата из наведене области. Додатно задатак развијених експертних система је да омогуће анализу делова спектра који у класичној анализи остају неанализирани.

Рад се састоји из 6 целина (поглавља).

Прво поглавље Увод садржи нека општа запажања о експертним системима, као и кратак приказ дисертација по поглављима.

Друго поглављу говори о вештачкој интелигенцији. Наведене су неке основне одреднице и дефиниције вештачке интелигенција заједно са задацима и доменима. Посебна пажња је посвећена системима заснованим на знању. Разлог је што су експертни системи, који су један од најзначајнијих представника система заснованих на знању, тема ове дисертације.

Тема треће главе су експертни системи. Дат је осврт на значај, историју и структуру експертних система. Описани су неки алати за развој, указано је на предности и ограничења примене експертних система, као и на разлике у односу на класичне конвенционалне програмске језике. Описани су структурни елементи експертног система – база знања, радна меморија, механизам закључивања, кориснички интерфејс. Како су експертни системи засновани на знању и како база знања представља срж једног експертног система, посебна пажња је управо посвећена знању, као и начину представљања истог. Описана су продукциона правила која су један од најчешће коришћених начина за представљање знања. Посебно је значајан део који говори о методама уланчавања правила. Уланчавање унапред или уназад, са конкретном практичном применом и разматрањима предности и мана сваке методологије понаособ је тема једне од целина ове главе.

Методологија и реализација експертних система су описани у четвртој глави и ово је једна од кључних глава ове дисертације. Идеја је била да се прикаже методолошка заснованост експертних система. Посебна пажња је посвећена продукционим правилима, али сада у контексту њихове логичке заснованости. Разматрани су Аристотелова логика и силогизми који су као форма мишљења имплементирани у

продукциона правила. На крају су описани реализација и примена експертних система, са илустрацијом резултата рада у контексту коришћене силогистичке форме закључивања.

Тема пете главе је закон радиоактивног распада. Описани су алфа, бета, гама распад и фисија и дефинисане величине које описују наведене процесе. Један део је посвећен радионуклидима. Уведен је појам изотопа и радиоактивних низова. Указано је на проблем присуства природне радиактивности као последица присуства радионуклида у атмосфери и земљишту.

Конкретан експертни систем за анализу спектра природних радионуклида који је развијен са циљем да се аутоматизује процес анализе наведених спектра је приказан у шестом поглављу. Поред идентификације и одређивања активности појединих радионуклида, посебна пажња је посвећена механизмима за смањење утицаја шума.

У Закључку је дат сажет приказ предности коришћења експертних система.

На крају дисертације се налази списак коришћене литературе.

## 2. Вештачка интелигенција

Вештачка интелигенција (ВИ у даљем тексту) је област која има дугу историју, као последицу свевременске људске жеље и потребе да осмисли машине која ће му помагати и одменити га у извршавању одређених активности. Још су стари Грци, Римљани, Египћани, Кинези користили абакус, средство налик данашњим рачунаљкама, које је имало за циљ да им олакша најједноставније математичке операције. Са развојем и напретком људске цивилизације и технологије захтеви и границе су се померали. Ово је довело до тога да се ВИ у претходном периоду веома интензивно развијала и мењала, а тај тренд је одржан и до данашњих дана. Иако су многи “интелигентни системи” развијени и функционишу доста добро преовладава мишљење да се од ВИ тек очекују прави резултати<sup>1</sup>.

Термин „*вештачка интелигенција*“ је један од најексплоатисанијих термина уопште. Све то не би било ни мало необично да сам термин није уствари плеоназам јер неке друге интелигенције осим произведене и нема.

Овде се спонтано намеће питање природне интелигенције. Устаљено је мишљење да је интелигенција човека сама по себи датост тако да се она по аутоматизму назива (проглашава) природна(ом). Међутим проблем проистиче из друге опште познате чињенице, а то је да човек целог живота мора да прикупља обимна најразличитија знања (информације), при чему се он у тој радиности не може понашати пасивно, као *tabula rasa*. Напротив. Да би те прикупљене информације биле употребљиве морају се обрадити и организовати у логички повезане целине (образовање), које је затим потребно развити у теоријске моделе који разматрају односе међу информацијама, или пак процесе који из неке групе информација формирају нову информацију, итд. Другим речима човек мора да уложити прилично труда и рада како на себи тако и у себи, што логично води до кључног закључка да је интелигенција производ (и то људски), а не датост, сама по себи. Уствари могло би се рећи, у складу са Хегелом [1],

---

<sup>1</sup> Овде је интересантно невести одговор Била Гејтса на питања корисника интернета путем мреже Редит из јануара 2015. године. Одговарајући на питање да ли ће суперинтелигентне машине постати егзистенцијална претња човечанству, Гејтс је рекао да ће пре тога машине “обављати много послова уместо нас. Неколико деценија касније, када интелигенција довољно ојача, може да постане проблем. Слажем се са Елоном Маском и још неким људима на ту тему и не разумем зашто поједине ово питање не брине”.

„...да онај који рачуна на природну интелигенцију, тај није далеко одмакао у свом образовању“.

Како је интелигенција производ рада и напора човека, то она, дакле, није *факт* већ *артефакт*<sup>2</sup>.

Појам вештачке интелигенције се први пут помиње давне 1952. године на конференцији *The Dartmouth Summer Research Conference on Artificial Intelligence* која је одржана на *Dartmouth Collegu*, у Хановеру, Нови Хемшир и којој је присуствовало тада пет водећих научника из области рачунарских наука, Клод Шенон, Марвин Мински, Џон Мекарти, Ален Новел и Херберт Сајмон. Том приликом је Џон Мекарти предложио име научне дисциплине. Име се сматрало још тада не баш најсрећнијим решењем, али је остало у употреби до данашњих дана. Сам израз је уведен да би се што више нагласиле и што лакше објасниле, могућности будућих рачунара и рачунарских програма [2]. Овде се првенствено мисли на паметне рачунаре који су требали да дефинишу пету генерацију рачунара по прогнози јапанских научника [3].

У литератури се може наћи већи број дефиниција вештачке интелигенције. Обично се кроз дефинисање апострофирају неки аспекти интелигентних система као што су способност мишљења, способност решавања проблема, могућност учења, начини памћења чињеница и сл. Овде ће бити наведене неке:

- Вештачка интелигенција се бави проучавањем како да компјутери раде оно што људи тренутно раде боље [4].
- Вештачка интелигенција је дисциплина усмерена за разумевање човекове интелигенције кроз конструисање рачунарских програма који опонашају интелигентно понашање [5].
- Вештачка интелигенција је дисциплина која изучава механизме интелигентног понашања кроз анализу, развој и евалуацију вештачких творевина у које се уграђују ти механизми [6].
- Вештачка интелигенција је део науке о компјутерима који се бави дизајнирањем интелигентних компјутерских система, тј. система који поседују карактеристике које асоцирају на понашање људи, као што су разумевање језика, учење, закључивање, решавање проблема и сл. [7].

---

<sup>2</sup>Вештачки производ, оно што је вештачки направљено.

- Област рачунарства која је у највећој мери посвећена интелигентним системима је вештачка интелигенција [8].

Питање које се овде логички намеће је које су то карактеристике интелигентног понашања које би требало да буду имплементирани у интелигентне системе, односно које би интелигентни систем требао да испољи у свом раду. Већина се слаже да су то:

- Учење или разумевање на основу искуства,
- Схватање двосмислених и контрадикторних порука,
- Брзо и успешно реаговање у новим ситуацијама,
- Коришћење закључивања у решавању проблема,
- Сналажење у непредвидивим ситуацијама,
- Разумевање и закључивање на обичан, рационалан начин,
- Употреба знања за манипулисање окружењем,
- Мишљење и резонавање,
- Препознавање релативне важности различитих елемената неке ситуације.

Процена степена остварености наведених карактеристика, а самим тим и степена интелигентног понашања машина је врло комплексно. Алан Тјуринг<sup>3</sup> је 1950. године у свом раду “*Computing Machinery and Intelligence*” (“Рачунске машине и интелигенција”) поставио питање “Can machines think?” [9,10]. Као одговор, у истом раду, описао је чувени Тјурингов тест, који представља тест машинске способности да демонстрира интелигенцију. Практична реализација теста се спроводи тако што људски судија поставља питања једном човеку и једној машини. Оба саговорника покушавају да се представе као људи. Ако судија не може са сигурношћу да одреди који саговорник је човек а који машина, онда је машина прошла тест. Године 2014. се појавила вест да је програмски створен лик, Јудин (Eugene Goostman), успео да прође овај тест. Међутим новински наслови су ипак били преурањени. Иако је резултат био доста добар (10 од 30 судија је пресудило да разговара са човеком, а не машином) сматра се да Јудин није прошао тест, тако да у пракси до данашњих дана идеја о интелигентним машинама није реализована у жељеном обиму.

Међутим сама идеја је, као што је већ речено, стара колико и људска цивилизација. Од давнина људе привлачи могућност конструисања “интелигентних машина” које би могле самостално да раде и решавају проблеме. Размишљања сежу у доба старе Грчке,

---

<sup>3</sup> Алан Туринг (1912-1954) је био енглески математичар, логичар и криптограф, који се с правом сматра оцем модерног рачунарства. 1936. године написао је чувени рад у коме је теоријски засновао и описао апстрактну аутоматску рачунску машину, која се по њему зове Тјурингова машина. Имала је многе карактеристике савремених рачунара које су касније и реализоване.

да би се током година појавило више различитих решење (Лул (Lull)<sup>4</sup>, Паскал<sup>5</sup>, Лајбниц<sup>6</sup>). Међутим догађај који се сматра прекретницом је конструкција првог општенаменског програмабилног електронског рачунара “*Electronic Numerical Integrator And Computer*” који је назван ENIAC. Развијан је за потребе америчке војске у другом светском рату. За то време ENIAC је био изузетно брза машина. Могао је да изврши 100000 операција у секунди. Захваљујући томе могао је да решава и до тада нерешиве проблеме (коришћен је између осталог и за прорачуне везане за хидрогенску бомбу). Такође могао је да извршава и сложене математичке операције које су могле да садрже петље и потпрограме. Иако ENIAC није довршен на време да послужи својој првобитној сврси његова улога и место у историји развоја интелигентних машина је неоспорна [3].

Веома брзо се увидело да су потенцијали рачунара далеко већи од првобитне намене која се односила на извршавање рачунских операција. Повољни резултати истраживања у почетном периоду навели су неке од научника да дају преурађене изјаве да се убрзо може конструисати “мислећа машина“ што је довело до бројних дебата у научним круговима. Последица је било то да је проблематика ВИ од краја 50-их, па све до средине 60-их година прошлог века била доста расплнута између фантастике, маште, потенцијалних могућности и практичних остварења, а управо су практични резултати, који су нашли примену у различитим областима, учинили да ВИ постаје толико интересантна за велики број научника из различитих области.

Један од главних циљева ВИ се односи на аутоматизовање оних људских активности које се везују за процес мишљења, попут доношења одлука, закључивања и свесног деловања. Као резултат се очекује конструкција машина способних да врше функције које захтевају интелигенцију онда када их врше људи.

---

<sup>4</sup> У XIII веку је Ramon Lul (1235-1316) описао систем *Ars Magna* којим је покушао да помоћу механичког комбиновања, симболичке нотације и комбинаторних дијаграма оствари „интелигентан“ систем.

<sup>5</sup> Прву функционалну рачунску машину направио је 1642. године са само 19 година француски научник Блез Паскал (1623-1662). Уређај је требало да помогне у бројним израчунавањима његовом оцу, порезнику француске владе. Био је потпуно механички, састављен од зупчаника и покретао се ручицом. Могао је само да сабира и одузима. Назван је Паскалина, по свом изумитељу..

<sup>6</sup> Тридесет година после Паскалине, велики немачки математичар, барон Готфрид Вилхелм фон Лајбниц (1646-1716) направио је другу механичку машину која је додатно могла да множи и дели. Гледано са становишта могућности које је имала она представља еквивалент данашњих једноставних дигитрона.

Основни проблем у развоју ВИ била је немогућност општег решавања проблема. Ово је био и главни разлог што се у даљим истраживањима пажња поклањала системима који су били способни да решавају проблем из одређених, уских области. Као резултат таквог приступа, из области ВИ проистекло је више грана које се данас проучавају и развијају као посебне дисциплине.

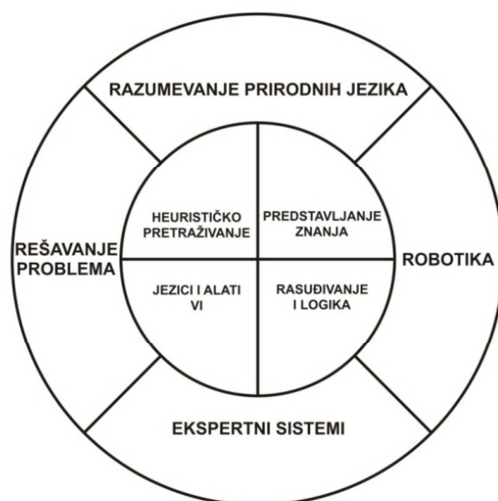
Према Rauch-Hindin из 1986. године [11] основни домени ВИ су:

- Системи засновани на знању – експертни системи. Развијени су како би се омогућило решавање проблема који се, због своје комплексности, не могу решити коришћењем класичних, стандардних, процедуралних програма. Поред експертних система као посебна дисциплина данас се развијају неуронске мреже, док се информациони системи, базе података и рачунарске мреже у свом развоју и раду све више ослањају на достигнућа вештачке интелигенције.
- Разумевање природних језика – ово је један од интересантнијих, и у исто време значајнијих домена ВИ. Разлог је могућност унапређења комуникације између човека и машина. Реални проблеми који се овде јављају су сложеност говора, неодређеност која проистиче из чињенице да поред подразумеваног вербалног разумевања говора зависи и од културног, социјалног и временског контекста, немогућност свођења на алгоритам као последица присуства великог броја фраза, скраћеница као и непрестане еволуције коју говорни језик у реалном окружењу доживљава.
- Роботика – ово је још један од домена ВИ који се данас налази у експанзији у правом смислу те речи. Роботика је наука која се бави проучавањем робота, који према дефиницији у Webster-овом речнику представља “аутоматизовани уређај који обавља функције које се обично приписују човеку“. Назив је изведен из чешке речи “робота“ која означава присилни рад. Тај назив је касније преузет и у свим другим светским језицима. Употреба робота је данас постала изузетно заступљена и широко коришћења. Спектар примене је веома широк и разноврстан и креће се од кућне употребе, до индустрије и космичких пројеката. Овде ћемо посебно поменути значај коришћења робота у ситуацијама када би то за човека било опасно. Тако су на пример у априлу, 2015. године у два наврата послати роботи у Фокушиму, како би проверили ниво радиоактивности и снимили у каквом се стању налази објекат.
- Решавање проблема – када се говори о решавању проблема мисли се на формирање и претраживање простора стања у циљу проналажења оптималног решења. Наиме једна од основних идеја која је потекла из истраживања у области ВИ, је могућност представљања проблема који се



решава на универзалан начин, независно од конкретног садржаја проблематике и области. Процес решавања многих, ако не свих проблема може се на погодан начин представити ако се задатку или проблему који се решава приступа са аспекта стања. Постављен проблем представља неко почетно стање, док решен проблем може да представља коначно стање до кога треба доћи. Поступци који се користе при решавању проблема доводе до преласка из почетног стања у коначно стање преко низа међустања. Решавање проблема се онда своди на налажење низа операција које доводе до решења проблема, односно до завршног стања.

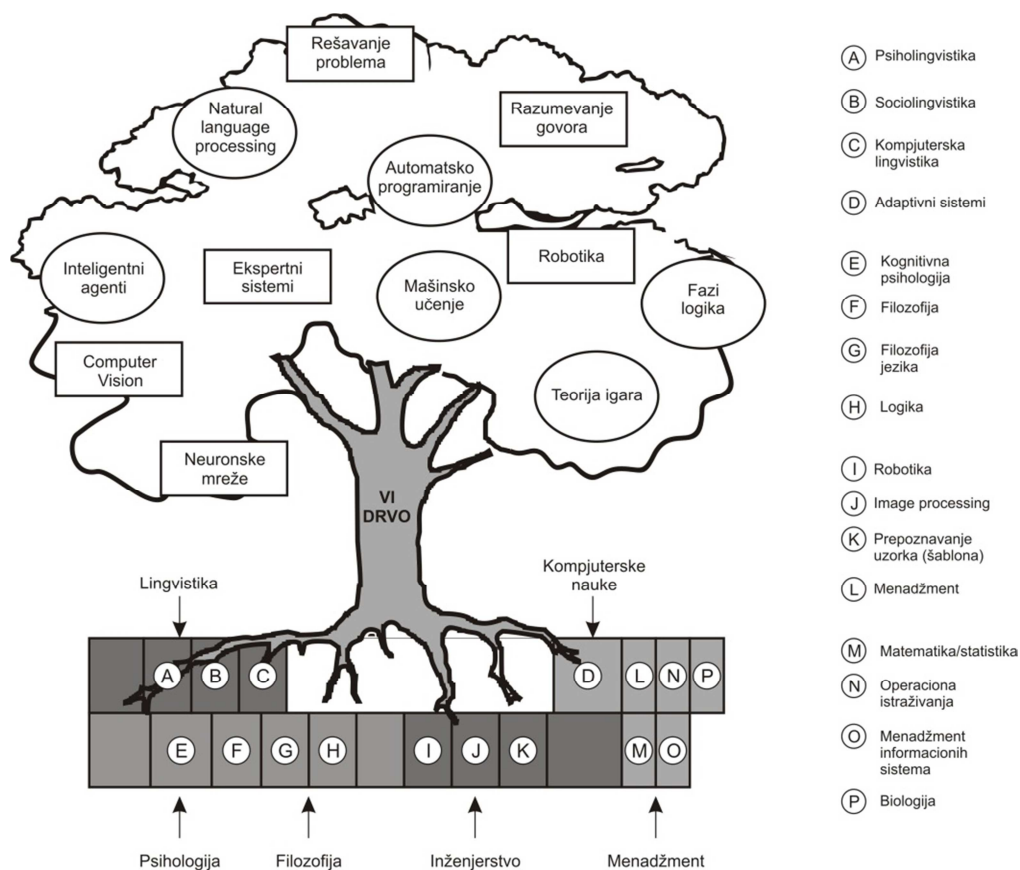
Према ранијим истраживањима из периода 90-тих година основни елементи ВИ и домени се могу графички представити као интегрисани круг (Слика 1). У средини се налазе основни елементи ВИ (хеуристичко претраживање, представљање знања, језици и алати, логика и расуђивање) док су домени (разумевање природних језика, роботика, експертни системи, решавање проблема) приказани на спољашњем прстену.



Слика 1: Основни елементи ВИ, прилагођено из [8].

Детаљнија подела на домене, као и подручја примене ВИ се могу у литератури често наћи представљени у форми тзв. „Дрвета ВИ“.

Са слике се види да се ВИ ослања на више различитих научних области: компјутерске науке, лингвистику, филозофију, психологију, инжењерство и менаџмент што је чини мултидисциплинарном науком. Иако се компјутерске науке намећу као доминантне, ништа мање нису значајне ни остале. Свака од њих, у зависности од конкретног домена ВИ и проблема који се решава даје свој допринос. Лингвистика је на пример веома важна јер је разумевање људског говора и све везано за комуникацију између машина и људи један од кључних задатака у развоју ВИ.



Слика 2: Дрво ВИ.

## 2.1. Системи засновани на знању

Један од домена ВИ су системи засновани на знају, у оквиру којих ће посебна пажња бити посвећена експертним системима (ЕС у даљем тексту).

Знање се може дефинисати као човеково разумевање дате материје које је прикупљено проучавањем и искуством. Везано је за сваког појединца понаособ. Може се сматрати синтезом и интеграцијом опажајног процеса човека, које му помаже да доноси закључке од значаја за дати проблем. Обично је лично, субјективно и локално.

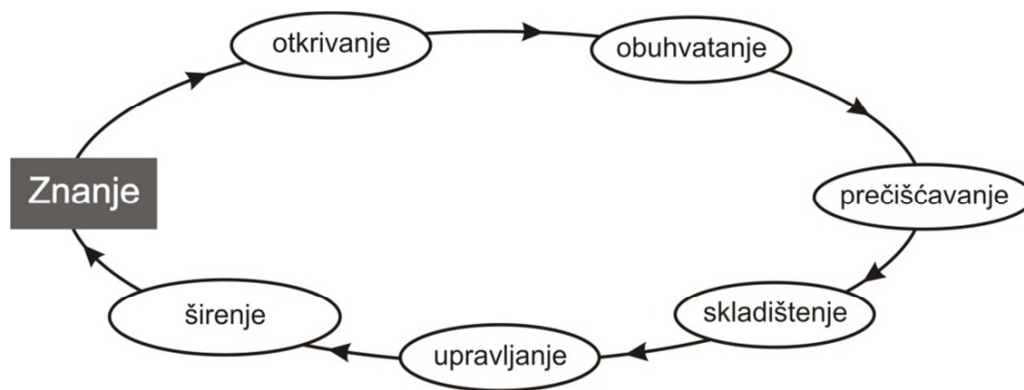
Одговор на питање шта је знање међу првима је тражио грчки филозоф Платон [12], који је у многим својим дијалозима говорио о знању. Међутим питање одређења знања се у тим дијалозима укршта са многим другим питањима везаним за знање, што све заједно прави мрежу из које је тешко извући појединачан проблем и разматрати га посебно. Једино је дијалог “Teetet” посвећен искључиво питању одређења суштине знања. Вишеслојност и недореченост дијалога “Teetet” имале су за последицу појаву низа интерпретација Платоновог схватања суштине знања у каснијим периодима. Тако да, иако предмет интересовања многих, ни до данас не постоји јединствена дефиниција знања:

- “*Scientia potentia est*”- (“знање је моћ”) рекао је сер Френсис Бејкон<sup>7</sup>.
- Знање је потврђено истинито веровање – већина филозофа прихвата ову дефиницију, нарочито емпиријски филозофи који верују да се знање може потврдити чињеницама [13].
- Знање представља скуп елементарних појмова и чињеница из неког домена, као и скуп веза између њих [14].

Знање је сложена категорија која обухвата чињенице, концепте, процедуре, моделе, хеуристику, примере.

Постоји више подела знања. Са аспекта ЕС интересантна је подела на експлицитно и имплицитно знање [15]. Експлицитно знање је знање које може да буде изражено у формалном језику и које се као такво може размењивати и бити коришћено од стране свих којима је доступно. Насупрот томе, имплицитно знање представља лично знање које је настало као резултат искуства и способности појединаца. Чине га вештине, интуиција, креативност коју људи поседују и које се не могу једноставно представити. На основу дефиниција чини се да неопходан предуслов за формирање окружења у коме се закључивање ЕС може поредити са оним експерта, налажење начина да се и једна и друга врста знања имплементирају у ЕС.

На Слици 3 је дат графички приказ циклуса управљања знањем који суштински одсликава развојни пут знања у ЕС.



Слика 3: Развојни пут знања.

Још једна од подела каже да знање може бити:

- Специфично или уопштено,
- Егзактно или фази,
- Процедурално или декларативно.

Прва подела на специфично или уопштено знање је извршена према предмету интересовања, тако да специфично знање одговара конкретној теми, проблему или

---

<sup>7</sup> Френсис Бејкон (Francis Bacon, Лондон, 22. Јануар 1561 – Лондон, 9. Април 1626) је био енглески филозоф, државник и есеиста.

ситуацији, док се уопштено знање бави генералним аспектима, питањима и проблемима.

Подела на егзактна и фази знања одсликава суштинску разлику између класичних процедуралних програма и ЕС. Док се код класичних процедуралних језика искључиво користе егзактна знања, код ЕС је могућа употреба фази знања, односно знања код којих се не може експлицитно тврдити да су тачна или нетачна.

И на крају декларативно знање се односи на објекте (чињенице и правила), као и на функционалне везе између њих. Са друге стране процедурално знање представља скуп правила и процедура које се користе како би се дошло до закључка, односно решења неког проблема. Представља знање експерта преведено у форму правила и процедура. Може бити теоријско и хеуристичко. Ова врста знања је најважнија са становишта рада ЕС. Најчешће се представља продукционим правилима.

Знање може бити експлицитно и имплицитно. Експлицитно знање обухвата чињенице из домена интересовања датог ЕС, односно знање које је широко познато и које се налази у књигама, часописима. Имплицитно (хеуристичко) знање је знање које експерт има као резултат искуства и које га у комбинацији са експлицитним знањем чини експертом. Хеуристичка знања не гарантују увек успех приликом решавања проблема, као што гарантује алгоритамски приступ. Међутим у многим областима као што је медицина, експериментална физика и друге искуство има кључну улогу.

Експертни системи су у великој мери засновани на имплицитном, неписаном искуственом знању које мора на неки начин бити екстраховано од експерта путем многобројних интервјуа у току дужег временског периода. Ове интервјуе спроводи особа која развија ЕС (инжењер знања).

Системи засновани на знању (Knowledge Based System – KBS) треба да омогуће симболичко представљање знања, налажење решења датог проблема на основу познатих података, информација и другог знања, као и увећавање знања на основу искуства. Квалитет уграђеног знања је кључни предуслов за добре перформансе ЕС.

Развојни циклус једног KBS може да се представи следећим корацима:

- Планирање базе знања (овде се мисли на планирање садржаја, релевантних улаза и излаза, избор стратегије тестирања),
- Избор одговарајућег домена и извора знања,
- Прикупљање знања,
- Формулисање (представљање знања у форми погодној за имплементацију) и представљање знања,
- Имплементација базе знања,
- Тест базе знања,

- У зависности од резултата наставља се са даљим прикупљањем знаја или се врши тестирање целог система.

Они који поседују знања су експерти, при чему се јасно дефинишу области за које се одређена особа сматра екпертом. Експерт мора да поседује исцрпно знање и одговарајуће практично искуство [16].

## 2.2. Прикупљање знања

Прикупљање знања је кључна тачка развоја сваког KBS. Постоје различите технике прикупљања знања. Глобално се могу поделити на неаутоматске, полу и потпуно аутоматске. За аутоматско прикупљање се користе одређени системи за аутоматско учење као што су RULES, RULEARN [17].

Неаутоматско прикупљање знања се односи на прикупљање релевантних података од експерата за дати проблем. Овде постоји више проблема са којима се инжињер знања среће [18]:

- Људско знање је веома сложено, често несистематизовано и непогодно за директну имплементацију,
- Некада је веома тешко рутине експерта преточити у писану форму,
- Одређене процедуре, ма колико сложене, експертима често постају рутинске тако да најчешће нису свесни комплексности мисаоног процеса који води до решења.

Поред експертског знања веома је битан део који се односи на прикупљање знања из књига, часописа и са интернета који је постао незаобилазни извор информација и полазиште за многе претраге. Проблем је што информације на интернету најчешће нису у форми која је погодна за директно коришћење, а додатно је потребно проверити веродостојност извора.

Представљање знања је процес трансформације експертског знања у базу знања ЕС. Постоји више начина представљања знања:

- Продукциона правила су један од најчешћих начина представљања знања и у наставку текстаће бити детаљније обрађена (поглавље 3.5).
- Семантичке мреже суштински другачије представљају знање у односу на продукциона правила. Представљају се помоћу графова који се састоје из чворова и веза између њих<sup>8</sup>. Чворови могу да представљају појмове, објекте,

---

<sup>8</sup> Граф је апстрактни математички објекат. Састављени су од чворова и грана које их повезују. Први проблем и његово решење изведено на начин који је био другачији у односу на претходне проблеме и

догађаје. Везе између чворова су усмерене, именоване и представљају функције којима се делује на чворове. Једна од предности овакве репрезентације знања је флексибилност која омогућава једноставну надградњу базе знања додавањем нових чворова и одговарајућих веза између њих. Друга карактеристика је наслеђивање која се материјализује кроз могућност да нижи хијерархијски позиционирани чворови наслеђују особине виших. Овим се доприноси уштеди меморије али се брзина рада смањује [17]. Развој семантичких мрежа довео је до настанка посебне логичке структуре, која је названа оквири (FRAMES) знања.

- Оквири су комплетне и заокружене логичке структуре, налик на класе у објектно оријентисаном програмирању. Обједињују појмове и процедуре. Представљају погодно средство за приказивање података и релација.
- Тројке ОАВ – су специјални случај семантичких мрежа са само три врсте чворова који могу да представљају **Објекте**, **Атрибуте** објеката и **Вредности** атрибута објеката.

---

који се може сматрати претечом теорије графова јесте рад Леонарда Ојлера под називом „Седам мостова Кенигсберга“, објављен 1736. године [19].

### 3. Експертни системи

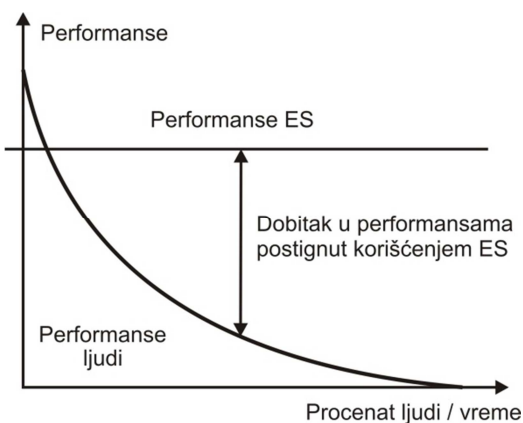
Експертни системи су један од домена и истовремено веома прогресиван тренд у пољу ВИ. О томе сведочи и податак да је број коришћених ЕС у свету је 1985 године износио 50, да би непуних десет година касније, 1992 године тај број био знатно већи, 12500 [8]. Тренд раста је настављен и у наредним годинама.

Коришћењем техника вештачке интелигенције у процесу решавања проблема, ЕС подржавају људски процес доношења одлука, учења и акција, истовремено елиминишући субјективност. Одсуство субјективности се сматра једном од битних предности коришћења и рада ЕС.

У литератури се може наћи више дефиниција ЕС, или тачније речено описа тога шта један ЕС представља. Овде ће бити наведени неки:

- Експертни системи су компјутерски програми који покушавају да понове знање и вештине експерата из одређених области и да реше проблем, на начин на који би то експерт урадио. [12]
- Интелигентни компјутерски програм који користи знање и процедуре закључивања за решавање проблема који су довољно тешки да захтевају значајну људску експертизу за своје решавање. [20]
- Експертни систем је компјутерски програм који показује високе перформансе у одређеном домену проблема што је условљено великом количином знања и способношћу да изврши закључивање на основу тог знања. [21]
- Под експертним системима подразумева се успостављање, унутар рачунара, дела вештине неког експерта која се базира на знању и која је у таквом облику, да систем може да понуди интелигентан савет или да преузме интелигентну одлуку о функцији која је у поступку. [22]
- Експертни системи су развијени да раде у динамичном окружењу у коме треба да закључују о временски промењивим информацијама, као и да генеришу хипотезе и закључке. [23]
- Рачунарски систем који укључује организовано знање, које се тиче неког специфичног подручја људске експертизе (медицинска дијагностика, идентификација хемијских једињења, финансијско планирање, геолошке перспекције, итд.), у довољном степену да може да врши улогу искусног и економски рационалног консултанта у том подручју [2].

Разлог за примену ЕС треба тражити у жељи да се знање из разних специфичних области људске делатности учини доступнијим кроз примену рачунарских програма. Иако не могу увек потпуно заменити људе експерте, нарочито у погледу креативности они имају и неке од несумљивих предности над људским знањем. Поред одсуства субјективности, овде се мисли и на чињеницу да свако знање временом може да се изгуби нарочито ако се често не користи.



Још једна од значајних предности коришћења ЕС је константност у раду. Графички би то могло да се представи следећим дијаграмом. Види се да дијаграм перформанси (квалитета) рада људског експерта временом опада највише као последица замора. Са друге стране види се да код ЕС овог ефекта нема.

ЕС су осмишљени тако да могу да обезбеде моћно и флексибилно окружење за решавање различитих проблема који уобичајено не могу бити решени коришћењем класичних процедуралних метода и програма. Неке од категорије задатака које се пред ЕС постављају су:

- Дијагностика – је процес који се бави откривањем неправилности (грешака) у раду неког система. Овде је посебно интересантна медицинска дијагностика која представља значајну област примене ЕС.
- Мониторинг – праћење рада система,
- Прогноза – предвиђање стања система у неком тренутку на основу тренутног и претходних стања система,
- Интерпретација – интерпретација резултата из различитих области на основу анализе резултата експеримента, мерења (сеизмолошких на пример) и сл.
- Планирање – утврђивање редоследа извршавања активности како би се остварио задати циљ. Захтев који се поставља је да план буде што оптималнији, односно да подразумева минималан утрошак времена и средстава,
- Пројектовање/Дизајнирање - у зависности од области могу се користити за пројектовање/дизајнирање широког спектра система и производа,
- Едукација - учења и провера знања,
- Селекција – избор најбољег од понуђених решења.

Развој ЕС је веома различит у односу на развој класичних, конвенционалних програма. Конвенцијали програми користе добро структуриране алгоритме како би нашли решење проблема. За тешке проблеме за које се ЕС развијају и којима се баве, важније је искористити искуствено знање које се у форми малих фрагмената (правила) смешта у базу знања и користи у процесу закључивања. То значи да се проблем не решава кроз



јасно дефинисани низ алгоритамских корака, већ, зависно од типа проблема, програм дефинише пут којим се долази до решења.

Независно од овога, ЕС се користе за решавање проблема за које је алгоритамско решење исувише компликовано да би се имплементирало у класичан процедуралан програм. У сваком случају, треба нагласити да ЕС не могу да реше нерешиве проблем, за које алгоритам уопште и не постоји. ЕС може да решава проблем које експерт из дате области сам или у сарадњи са другим експертима из исте и других повезаних области може да реши.

Неке од основних карактеристика ЕС истовремено представљају и суштинске разлике у односу на класична решења:

- Базирају се на знању (knowledge based) - Најважнија карактеристика ЕС је да се базирају на знању. Постоји више различитих метода за представљање знања у бази знања ЕС – продукциона правила, оквири, семантичке мреже.
- Поседују механизам за закључивање (inference engine) - Механизам закључивања у току рада ЕС претражује базу знања и на основу садржаја базе знања и стања података и чињеница у радној меморији врши закључивање.
- Модуларност и могућност једноставне промене уграђеног постојећег знања.
- Преовлађује обрада симболичких података.
- Имитирање мисаоног процеса експерта.
- Могућност рада са непоузданим подацима (low confidence data) - Један од захтева који се поставља пред ЕС је могућност рада са непоузданим подацима, као и у случају када сви потребни подаци нису познати или доступни (unknown data). У таквим случајевима веома је важно да ЕС не прекида рад, већ да опонашајући експерта настави рад и изврши могућу делимичну анализу која зависи од расположивих података. Градација тачности решења које даје ЕС треба да зависи од расположивих података и њихове поузданости.
- Могућност образлагања добијених закључака и резултата.

У Табели 1 су дате упоредне карактеристике класичних, конвенционалних програма са једне и ЕС са друге стране.

KONVENCIONALNI SISTEMI	EKSPERTNI SISTEMI
manipuliše podacima	manipuliše znanjem
algoritamski koristi podatke ponavljajući proces	heuristički koristi znanje, proces zaključivanja
efikasno manipuliše velikim bazama podataka	efikasno manipuliše velikim bazama znanja
znanje i metode korisničkog znanja su izmešani	model rešavanja problema se pojavljuje kao baza znanja, a njom upravlja odvojeni deo - mehanizam zaključivanja (interpreter pravila)
znanje je organizovano u dva nivoa - podaci i programi	znanje je organizovano u bar tri nivoa - podaci, baza znanja i mehanizam zaključivanja
u slučaju novog znanja potrebno je reprogramiranje	novo znanje se dodaje bez reprogramiranja, proširivanjem baze znanja

Табела 1: Упоредне карактеристике конвенционалних програма и експертних система.

### 3.1. Историјски развој експертних система

Први ЕС су се појавили средином 60-их година прошлог века. Године 1965, на Универзитету Станфорд, Ј. Ледерберг, органски хемичар (и добитник Нобелове награде за хемију), у сарадњи са Е.А. Фигенбаум и Б.Г. Бјукенен познатим истраживачима у области ВИ тог времена је развио DENDRAL [24]. Био је то први rule-based ЕС, који се сматра пионирским пројектом у области ВИ. Примарно је осмишљен да помогне органским хемичарима код одређивања структурне формуле непознатих органских молекула, анализирајућу податке добијене са масеног спектрометра и користећи знање и искуства хемичара. Сам проблем за који је развијен је веома комплексан с обзиром да за дату познату квантитативну хемијску формула може да постоји велики број органских једињења са различитим структурним формулама. Идеја је да се на основу улазних података поставе ограничавајући услови, који би довели до смањења броја могућих решења. Циљ је остварен када систем дође до једног или више кандидата који задовољавају постављене услове и ограничења. Замишљен је као помоћ при раду органским хемичарима, а не као самостални функционални систем.

Из DENDRAL је проистекло више других ЕС, као што су MYCIN, MOLGEN, PROSPECTOR, XCON и STREAMER.

MYCIN је развијен 1972. године на Универзитету Станфорд у САД, на компјутеру треће генерације, PDP-11. Садржао је преко 500 правила и релација. Користио је механизам уланчавања уназад. Намена му је била да кроз дијалог са корисником врши дијагностиковање инфективних болести крви. Улазни подаци су били су били резултати лабораторијских анализа, као и одговори које је систем добијао од пацијената.

Структура правила у MYCIN-у је била следећа:

```
<rules. ::=
  <premise> <action>

<premise> ::=
  ($AND <condition> ... <condition>)

<condition> ::=
  (<predicate> <context> <parameter> <value>) |
  ($OR <condition> ... <condition>)

<action> ::=
  <conclusion> | <instruction>
```

У структури MYCIN-а разликовале су се следеће компоненте: база знања, динамичка база знања пацијената, програм за консултацију, програм за образлагање и програм за прикупљање нових знања. База знања је интересантна јер су се у њој користила правила за представљање знања. За указивање на ограничену тачност чињеница у оквиру правила је коришћен фактор поузданости (Certainty Factor, CF).

Евалуација MYCIN-а вршила се у континуитету. Тако је 1974. године тим од 5 медицинских експерата одобрио 72% препорука терапије пацијентима од стране MYCIN -а.

Прерастао је у љуску ЕС KEE и CADECEUS ЕС.

DENDRAL и MYCIN се сматрају веома успешним и значајним ЕС, који су оставили дубок траг и били покретач развоја ЕС.

MYCIN је послужио као основа за више других ЕС који су своју примену нашли у медицини, као што су ONCOCIN и CADIAG-2. ONCOCIN такође користи правила за представљање знања али за разлику од MYCIN -а користи механизам уланчавања унапред [25]. Значајно унапређење ONCOCIN ЕС је могућност коришћења претходно коришћених информација и историјских података.

Још један од значајних представника ЕС овог раног периода је XCON, претходно зван P1, који је имао могућност конфигурисања рачунара (VAX, PDP-11 и microVAX). Настао је као последица жеље Digital Equipment Corporation (DEC) да својим корисницима понуди могућност конфигурисања система на основу широког спектра компоненти. Ово је уједно био и први комерцијални ЕС. Током година овај ЕС је надограђиван да би данашњих дана био уграђен у систем који помаже DEC агентима у бележењу поручбина.

## 3.2. Предности и ограничења експертних система

Коришћење експертних система има одређених предности које се између осталог базирају на одсуству субјективности у решавању проблема и процени резултата, брзини и тачности рада. За исте улазне параметре ЕС увек доноси исте одлуке. На њега околина не утиче, па зато кажемо да је конзистентан.

Поред ових могу се издвојити још неке карактеристике:

- Економски гледано цена ЕС је ниска у односу на то колико је потребно платити експерта за решавање датог проблема. Не ретко је ситуација таква да је потребно ангажовати више експерата из различитих области у истом тренутку. Такође много је лакше обезбедити више рачунара него обучити стручњаке за неку област. Имајући све ово у виду закључује се да је коришћење ЕС економски исплативо.
- Могу се користити у окружењима која могу бити опасна по човека (нуклеарне електране и сл.).
- Постојаност. Функционисање ЕС је независно од времена, окружења или емоција.
- Могућност комбиновања знања у решавању проблема од стране више различитих експерата из различитих области. Осим тога, ЕС увијек поставља предвиђена питања, која би можда експерт заборавио да пита.
- Експертни систем може експлицитно и до детаља објаснити резонување које је довело до закључка.

Како би се боље сагледале предности коришћења ЕС навешћемо нека ограничења које имају експерти:

- Немају способност да памте велику количину података,
- Не могу да разумеју велику количину података брзо,
- Процес „позивања“ меморисаних података може да траје и не увек да буде успешан,
- Замор, физички и ментални је неизбежан,
- Субјективност.

Међутим постоје ситуације у којима без обзира на све наведено, експерт има предност у односу на ЕС. Креативност и могућност адаптације на новонасталу ситуацију коју поседује експерт, и коју користи за решавање нових проблема, је нешто што ЕС нема. Експерт (човек) информације прима свим својим чулима за разлику од ЕС који барата само симболичким подацима. На основу искуства експерт из мноштва информација може да издвоји оне битне и да на основу њих донесе закључке. Количина примљених

информација је често веома велика, толико да експерт често није у потпуности ни свесни које све информације поседује. Из овог разлога је потпуна имплементација информација у ЕС немогућа. Самим тим се губи ширина сагледавања проблема од стране ЕС. Због тога експертни систем може да решава само проблеме из уског подручја за које поседује уграђено знање. Да би могао да решава нове ситуације прво мора да му се прошири база знања одговарајућим правилима.

Поред предности постоје и ограничења у коришћењу ЕС:

- Ограничени су на дати проблем. Ван тога перформанце ЕС слабе, до границе неупотребљивости.
- Језици и средства за представљање знања имају ограничене изражајне могућности.
- Интерфејс ка кориснику (улаз/излаз) већине ЕС је крут и није на природном језику.
- Процес изградње ЕС није у потпуности достигао научну егзактност, већ још увек, у великој мери, зависи од вештине појединца.
- Неопходно је постојање стручњака – ауторитета у области, ради одржавања конзистентности елемената у бази знања који се преклапају.
- Опасност од једностраног виђења предметне проблематике, с обзиром на уобичајено ослањање на само једног стручњака из области.
- Квалитет рада једног ЕС је директно условљен квалитетом информација које су имплементирани у базу знања.
- Због својих ограничења, ЕС се првенствено користе као саветници и асистенти у решавању проблема. У будућности се очекује већа постојаност понашања и већа аутономност система што би временом довело до превазилажења улоге интелигентне помоћи.

### 3.3. Алати за развој

Алат за развој треба да обезбеди окружење за развој ЕС са свим основним неопходним компонентама. Рад и истраживања на пољу ВИ су довела до настанка програмских језика специфичних за ову област компјутерске науке. Данас не постоје универзални алати за развој експертних система. Поред специфичних и за ту сврху развијених као што су I2+, CLIPS, PROLOG, LISP, ЕС може да буде развијен у неком од програмских језика као што су Fortran, Pascal, C++ and Visual Basic [26]. Java са својим уграђеним класама је програмски језик који у највећој мери задовољава све потребе за развојем комплексних ЕС.

Пограмски језик IPL (Information Processing Language) је био први симболички језик за обраду листа који је коришћен у области ВИ.

Један од најпознатијих програмски језик у области ВИ је LISP (“List Processing Language”). LISP је осмислио Џон Мекхарт 1958. године на Технолошком Универзитету у Масачустесу (МИТ)<sup>9</sup>. Основна намена овог програмског језика је била обрада претежно симболичких података. Програми писани у овом програмском језику су били веома захтевни са становишта расположивих ресурса рачунара. Језик је доживео и неке модификације у циљу нових језика као што су INTERLISP и MACLISP. Данас је овај програмски језик још увек актуелан у области ВИ, с тим што данашњи рачунари по својим карактеристикама премашују потребне ресурсе за рад LISP програма. LISP је концептуално функциолани језик. Сваки исказ у језику је опис функције.

Програмски језик PROLOG (PROgraming in LOGic) је настао раних 70-тих година. Аутор PROLOG-а је А. Colmerauer са универзитета у Марсељу. Базира се на идеји Р. Ковалског, да се предикатски рачун првог реда употреби као програмски језик. Пролог је један од првих логичких програмских језика и до данас је остао један од најпопуларнијих таквих језика, са великим опсегом примене од бесплатних до комерцијалних апликација. Иако је првобитно био намјењен за процесуирање природног језика, првазишао је те оквире и користи се у више различитих подручја као што су доказивање теорема, експертни системи, игре.

PROLOG је својевремено прихваћен и као основни програмски језик јапанског пројекта пете генерације рачунара, паметних рачунара.

Поред тога интересантно је поменути настанак посебне врсте софтверских алата, под називом EC shell (љуска за EC) као и Expert System Building Tool (ESBT – алат за градњу EC) који осим shell - а садрже и user interfejs. Ови алати садрже у себи неке стандардне компоненте EC, тако да омогућавају брз развој апликације.

CLIPS (C Language Production Integration System) је KBS љуска за развој EC која обезбеђује комплетно окружење за развој EC [28,29]. Развијен је од стране NASA-е (the National Aeronautics and Space Administration), 1985. године у C програмском језику. Данас се доста користи у државној управи, индустрији и академским институцијама. Бесплатан је и последња верзија, која се може преузете са званичног сајта <http://clipsrules.sourceforge.net/> је 6.30. Обезбеђује алат за рад са широким спектром знања. Подржава rule-based, објектно орјентисан и процедурално програмирање. Рулебасед програмирање омогућава представљање знаја у форми закључивања, односно путем правила. Користи механизам уланчавања унапред. Објектно орјентисано

---

<sup>9</sup> “Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I”, John McCarthy [27].

програмирање уводи модуларну структуру комплексних система, што омогућава једноставну манипулацију истим у смислу прилагођавања неком другом проблему, или изградњу нових модула. И на крају процедурално програмирање је слично програмирању у класичним језицима као што су C, Pascal. Може се користити на многим оперативним системима. Отвореног је кода тако да се може модификовати и прилагодити специфичним потребама корисника. CLIPS може бити позван као подпрограм из неког процедуралног кода, а он сам може да позива програме писане у програмским језицима као што су C, Fortran. Развијен је и CLIPS A, верзија која подржава механизам уланчавања уназад.

Поред CLIPСа данас се користи и JESS (Java Expert System Shell) љуска опште намене. Употпуности је написан у Java програмском језику. JESS су осмислили Ернест Џ. Фридман – Хил из Sandia National Laboratories *Livermore, CA, USA*, као део међународног пројекта. Прва верзија је написана 1995. године и од тада је доживела бројне модификације као последицу додавања кода, закрпа и сугестија од стране корисника. Омогућава да апликације написане у Javi (аплети) добију могућност да “одлучују”. Знање се представља у форми правила. JESS користи RETE алгоритам [30] за праћење промена у радној меморији (додавање и уклањање чињеница) и ажурирање скупа конфликтних правила, односно скупа правила којима је услов за активирање испуњен. Користи механизам уланчавања уназад.

I2+ је алат за развој ЕС развијен од стране Level Five Research групе у Pascal-у [31] 1986. године. Подржава примарно механизам закључивања уназад, али је алтернативно могуће симулирати механизам уланчавања унапред. Мени садржи следеће функције:

**Run a knowledge base**  
**Edit a knowledge base**  
**Compile a knowledge base**  
**Run a DBPAS program**  
**Edit a DBPAS program**  
**Compile a DBPAS program**  
**Edit a data base.**

За креирање базе знања се користи језик Production Rule Language (PRL), који омогућава представљање знања у форми IF-THEN-ELSE правила. Правила је могуће писати у неком од текст едитора, с тим што је најприродније то урадити у едитору који је имплементиран у I2+. Функцијом **Compile a knowledge base** база се преводи у верзију са екстензијом KNB која се затим може стартовати из I2+ функцијом **Run a knowledge base**. Компајлирањем се уједно врши синтаксна провера и у случају да грешака нема се прави извршни фајл. У случају грешака добија се порука са описом грешке. Све поруке и обавештења се реализују путем REPORT система, који се у сваком тренутку може позвати функцијом WHY?.

I2+ у себи има уграђен прилагођен Pascal, DBPAS који се може позивати из базе знања и који подржава dBASE III базу података која је такође саставни део I2+ окружења. Врсте података подржане у PRL језику су simple fact, numeric, string, при чему simple fact представља ма који податак који може бити тачан или нетачан. I2+ омогућава уланчавање више база коришћењем функције CHAIN. Заједничке чињенице за више база се декларишу функцијом SHARED.

I2+ подржава унцртаин реасонинг у смислу да поред могућности да се одговори да је нешто тачно или нетачно прихвата и одговоре који изражавају степен тачности, односно нетачности. Мера степена тачности неке чињеница одређује се CONFIDENCE фактором. Приликом коришћења confidence -а потребно је одредити и вредност THRESHOLD -а, најнижег нивоа тачности који нека чињеница треба да има да би била разматрана. THRESHOLD може бити цео број из опсега од 0 до 100. Подразумевана вредност је 50.

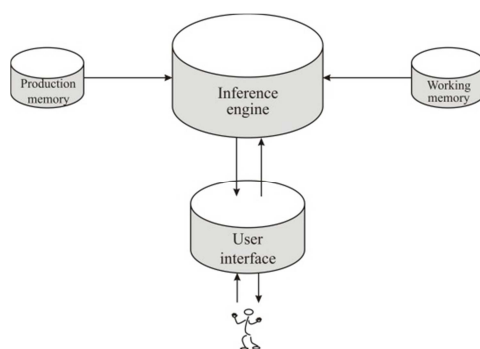
Иако је пружао веома комотно окружење за изградњу ЕС, I2+ није даље развијан.

### 3.4. Структура експертног система

ЕС има јединствену структуру која се разликује од структуре класичних програма. У литератури се као основне компоненте ЕС наводе:

- Механизам закључивања,
- Меморија (база знања и радна меморија),
- Кориснички интерфејс.

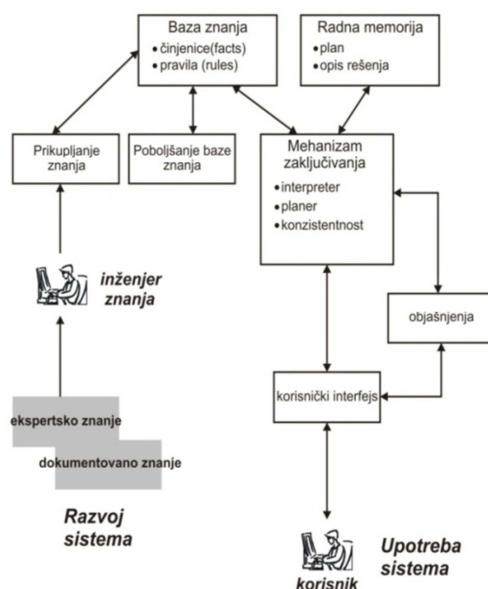
На Слици 4 су представљене основне компоненте ЕС, као и корисник који преко корисничког интерфејса комуницира са ЕС [32,33]. Кориснички интерфејс је поред корисника, у непрестаној комуникацији са механизмом закључивања. Смер протока података је у оба случаја двосмеран. Механизам закључивања податке за свој рад добија из радне меморије и базе знања. Независтан је од конкретног ЕС, док је садржај базе знања директно условљен конкретним проблемом који се решава.



Слика 4 : Основне компоненте ЕС.



Детаљнији приказ структуре ЕС је дат на Слици 5. Детаљнија структура поред наведених основних компоненти приказује и кључне актере развоја и коришћења ЕС, инжињера знања и корисника. Експертско, заједно са документованим знањем (књиге, часописи и остала стручна литература) су основни алат у рукама инжињера знања који треба да га на најоптималнији начин имплементира у базу знања ЕС. Стрелицама су означене везе између појединих компоненти. Може се видети да је целокупна комуникација двосмерна, односно повратна изузев у делу инжињер знања – прикупљање знања. Посебно је издвојен део, *објашњење*, који представља механизам који се користи за образлагање добијених резултата. Управо је могућност образлагања добијених резултата једна од предности ЕС која се стално наводи. Од развијености и прилагођености овог система у великој мери ће зависити и утисак који ће корисник имати у раду са ЕС.



Слика 5: Детаљнија структура ЕС.

### 3.4.1. Механизам закључивања

Механизам закључивања (Inference engine) је компонента ЕС која је заслужна за аутоматизовано закључивање, односно механизам за тражење решења проблема. Може се рећи да он представља интелигентни део ЕС. У току рада ЕС претражује базу знања и на основу података у радној меморији обавља процес закључивања. Закључивањем се долази до нових чињеница које постају саставни део радне меморије и које узимају активно учешће у даљем процесу закључивања. Како ће механизам закључивања радити зависи од начина на који је знање представљено, као и од стратегије претраживања базе података.

Иако је процес закључивања у великој мери условљен проблемом који се решава и самим тим чињеницама које су на располагању ЕС, што га чини доста уско оријентисаним ка датом проблему, механизам за закључивање треба да буде у што већој мери универзалан и независтан од конкретне проблематике. Прилагођавања су могућа и зависе од конкретно коришћеног алата за развој ЕС. На пример неки алати дозвољавају кориснику да изабере једну од стратегије претраживања унапред или уназад. Такође могуће је некада бирати и стратегију за решавање резолуције конфликта (системи са уланчавањем унапред) или у случају хијерархијски организованих циљева диктирати избор циља који ће се доказивати (системи са уланчавањем уназад). Могуће је бирати начин на који ће се исписивати поруке намењене кориснику као и место њиховог појављивања у програму, док је у случају рада са непоузданим чињеницама могуће поставити праг за вредност фактора поузданости (на овај начин се поставља вредност испод које се подаци не узимају у обзир).

### 3.4.2 База знања

Знање које је одређеном техником репрезентовано у меморији рачунара тако да му се може по потреби приступити на адекватан и ефикасан начин назива се база знања [17].

База знања садржи специфично, карактеристично знање везано за проблем који се решава и које се специфичном репрезентацијом смешта у базу знања. Једна од најчешће коришћених репрезентација су продукциона правила. Знање које се њима представља је по својој природи закључивање и може се изразити у облику АКО - ТАДА (IF - THEN).

Може се развијати независно од механизма закључивања што за последицу има позитивну карактеристику да се база знања може постепено мењати а да се при томе не праве велике промене у тексту програма.

База знања у зависности од сложености проблема који се решава може имати мањи или већи број правила. Правила појединачно немају никакву функцију. Њихова посебност и значај долазе до изражаја само када се посматрају као целина, а то је могуће искључиво ако су правила међусобно повезана. Постоје два начина уланчавања или повезивања правила, који уједно одређују стратегију претраживања базе знања:

- Уланчавање унапред или уланчавање вођено подацима (forward chaining) - овај начин уланчавања правила је уграђен у ESBT<sup>10</sup> CLIPS.
- Уланчавање уназад или уланчавање вођењо циљем (backward chaining) – овај начин уланчавања правила је уграђен у ESBT I2+ који је коришћен за развој више ЕС из области атомске и молекулске физике [34,35,36,37], као и ЕС за анализу емисионог спектра цезијума, нуклеарна физика [38].

---

<sup>10</sup> Expert System Building Tools.

ESBT који је коришћен за изградњу конкретног ЕС користи механизам уланчавања уназад што је био и један од кључних разлога због којих смо се одлучили да овај, али и претходне ЕС управо развијамо управо у њему.

Коришћењем наведене изабране стратегије уланчавања онемогућава појаву резолуције конфликта тј. ситуације када је у истом тренутку испуњен услов за активирање више правила. ЕС је тада у проблему јер се поставља питање шта је критеријум по којем ће једно правило добити предност у односу на друго. Постоји више стратегија које користе различите критеријуме за решавање овог проблема<sup>11</sup>.

### 3.4.3. Радна меморија

Радна меморија је део РАМ меморије рачунара. Садржи тренутне податке о проблему који се решава, закључке и вредности променљивих до којих је ЕС у току рада дошао, као и податке које је корисник унео у току рада ЕС. Када се нађе у радној меморији, податак постаје равноправни учесник процеса закључивања и програм га може користити до краја процеса закључивања, све до тренутка док се не повуче из радне меморије или промени.

Код система који користе механизам уланчавања унапред у радној меморији се налази и списак тренутно активираних правила (агенда). Свако правило може да носи са собом потврђивање неке нове или повлачење неке већ постојеће чињенице и то директно утиче на промену садржаја радне меморије. У радној меморији се памти редослед извршених правила што омогућава ЕС да даје објашњења закључака до којих је у процесу закључивања дошао.

Тренутни садржај радне меморије се назива контекст ситуације или проблема и он директно утиче на то која ће правила бити активирана. Како се њен садржај током рада мења, тако се мењају и правила која задовољавају услов да буду активирана и самим тим извршена.

Садржај радне меморије може да се мења на више начина.

Процес решавања проблема почиње уношењем у радну меморију почетних података, а завршава се када систем дође у циљно стање. Сам процес решавања проблема је закључивање.

---

<sup>11</sup> Рефракција, старост чињеница, специфичитет (видети 3.6.).

### 3.4.4. Кориснички интерфејс

Структурна компонента ЕС која обезбеђује механизам за комуникацију на релацији корисник – ЕС, као и интерпретацију резултата је кориснички интерфејс (User interface). Практично то значи да треба да омогући прихватање информације од корисника и да их преведе у облик који је прихватљив ЕС или да прихвати информацију од ЕС и трансформише је у облик који корисник може да разуме.

Специфичности у овој комуникацији у великој мери зависе од изабраног алата за развој ЕС. У случају конкретно коришћеног I2+ ова комуникација омогућава следеће:

- Рад са базом знања – ова ставка описује сам процес стварања ЕС у смислу едитовања и формирања једног, за I2+, карактеристичног текстуалног фајла типа PRL (Production Rules). Фајл садржи експертско знање у виду продукционих правила. Програм има могућност компајлирања наведеног фајла у циљу откривања синтаксних грешака како би их корисник отклонио и на тај начин остварио неопходан предуслов за формирање извршног фајла који задржава исто име али добија нову екстензију KNB (Knowledge Base).
- Рад са процедуралним Pascal-ским програмима – I2+ у себи садржи имплементиран прилагођен Pascal, DBPAS који омогућава писање програма који имају за циљ претраживање и интерактиван рад са базама података, као и вршење израчунавања.
- Рад са базом података – I2+ користи dBASEIII систем за управљање базама података. Акције које се подразумевају су претраживање табела, филтрирање истих на основу неког критеријума, као и уписивање података који настају као резултат рада ЕС.
- Програмска комуникација са корисником која се одвија у извршној фази путем порука које ЕС у току рада исписује. Овим порукама се корисник обавештава о евентуалним грешкама, самом току решавања проблема и постигнутим резултатима. Такође може да се захтева и унос неких података који су неопходни за рад ЕС у датом тренутку.

### 3.5. Продукциона правила

Један од најчешће коришћених начина за приказивање знања су продукциона правила (production rule), која се у литератури могу да нађу под називом IF-THEN правила. Омогућавају да се у бази знања представи и меморише оно знање које је по свом карактеру закључивање. Представљање знања коришћењем продукционих правила базира се на логици.

У структури продукционих правила се разликују два дела:

- IF део (премиса или услов),
- THEN део (закључак или акција).

Додатно, правило може да садржи и алтернативну, ELSE, грану која се извршава у случају да условни део правила није испуњен.

У условном делу правила се може налазити један или више исказа који су у функцији услова. У пракси је најчешћи случај да се условни део састоји од више појединачних услова који су међусобно повезани логичким операторима AND, OR и NOT. У таквим ситуацијама говори се о сложенем услову. Правило се активира уколико су испуњени сви услови поштујући особености сваког појединачног оператора везе. Сматра се да је услов испуњен уколико постоји једнакост услова са чињеницама и подацима који се налазе у радној меморији. Провера испуњености услова се врши упоређивањем са изразима у условном делу правила и у случају поклапања тј. испуњења условног дела долази до активирања правила. У том случају се закључак у THEN делу узима као истинит, чиме постаје саставни део чињеница у радној меморији и као такав се користи у даљем процесу закључивања. У случају када се закључни део правила идентички поклапа са циљем који је постављен пред ЕС, ово поклапање означава крај процеса претраживања базе и крај рада експертног система.

Формулисање правила на овај начин чини их блиским свакодневном језику што је веома редак случај у компјутерској науци. Постоје и другачије формулације правила које их чине разумљивим само за компјутер. У свако случају извесно је то да је свако правило прилагођено окружењу у коме се ЕС развија.

Физички редосле правила у бази знања је небитан са становишта активирања тако да се при развоју ЕС не мора водити рачуна о редоследу уношења правила у базу знања.

Један од начина да се утиче на редослед активирања а самим тим и извршавања правила је додељивање фактора поузданости (Certainty Factor - CF) правилима. Приоритеу у извршавању имају правила са већим CF. У конкретном ЕС правилима није додељивањ CF јер се ни на који начин није хтело да утиче на процес закључивања. Поред правилима CF се може додељивати и чињеницама и подацима.

Правила су модуларна, односно представљају целине за себе што омогућава несметано додавање нових правила. Ово омогућава поступно развијање базе знања без потребе да се мењају постојећа правила.

Конкретна синтакса која се користи код различитих алата за развој ЕС ((I2+, CLIPS, Eclipse) а који се базирају на продукционим правилима може бити доста различита. Као илустрација наведено је правило у I2+ и CLIPS синтакси.

<i>I2+</i>	<i>CLIPS</i>
<i>RULE Kraj analize</i>	<i>(defrule kraj_analize</i>
<i>IF Ulazni podaci</i>	<i>  Ulazni podaci</i>
<i>AND Imena datoteka</i>	<i>  Imena datoteka</i>
<i>AND Izvršena identifikacija</i>	<i>  Izvršena identifikacija</i>
<i>AND Izvršena izračunavanja</i>	<i>  Izvršena izračunavanja</i>
<i>AND Upisivanje podataka u datoteku</i>	<i>  Upisivanje podataka u datoteku</i>
<i>THEN Završena analiza spektra.</i>	<i>=&gt;</i>
	<i>(printout t "Završena analiza</i>
	<i>  spektra" )</i>

Да би процес закључивања могао да се одвија неопходан предуслов је да правила буду међусобно повезана, уланчана.

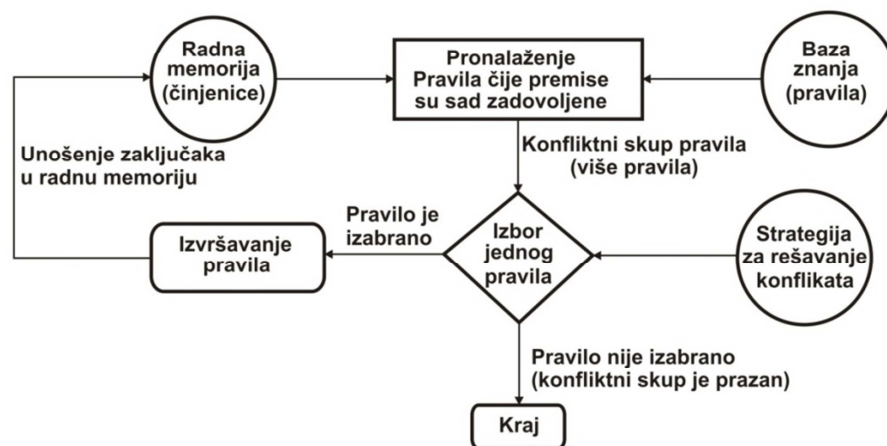
### 3.6. Уланчавање правила

Уланчавањем правила се постиже формирање низа повезаних, уланчаних правила са више међузакључака који воде ка главном циљу. Уланчавањем се у највећем броју случајева не добија линеарна структура правила, већ разграната. Технике уланчавања, односно закључивања деле се у две категорије:

- Уланчавање унапред (forward chaining),
- Уланчавање уназад (backward chaining).

Ове две наведене стратегије се суштински разликују. Уланчавање унапред је закључивање вођено подацима (data-driven), полази од података и иде ка циљу, док се код уланчавања уназад креће од циља и иде ка подацима.

На Слици 6 је приказан алгоритам уланчавања унапред. Алгоритам илуструје кораке кроз које пролази ЕС који у процесу закључивања користи метод уланчавања унапред.



Слика 6: Алгоритам уланчавања унапред.

Уколико се цео процес рашчлани, могу се дефинисати следећи кораци:

- На основу података у радној меморији и базе знања проналазе се сва правила која испуњавају услов да буду активирани. У сложенијим ЕС оваквих правила у сваком тренутку је обично више и она формирају конфликтни скуп правила. Ово се наводи као највећи проблем ове методологије закључивања. Решавање овог проблема избором једног од правила које ће бити активирано назива се резолуција конфликта.
- Коришћењем неке од техника за решавање резолуције конфликта, ЕС бира правило које ће се активирати. У случају да не постоји ни једно правило које испуњава услов за активацију рад ЕС се завршава и корисник добија одговарајућу поруку.
- Изабрано правило се извршава, закључак тог правила постаје саставни део радне меморије чији се садржај аутоматски мења и ЕС се враћа поново на почетни корак.

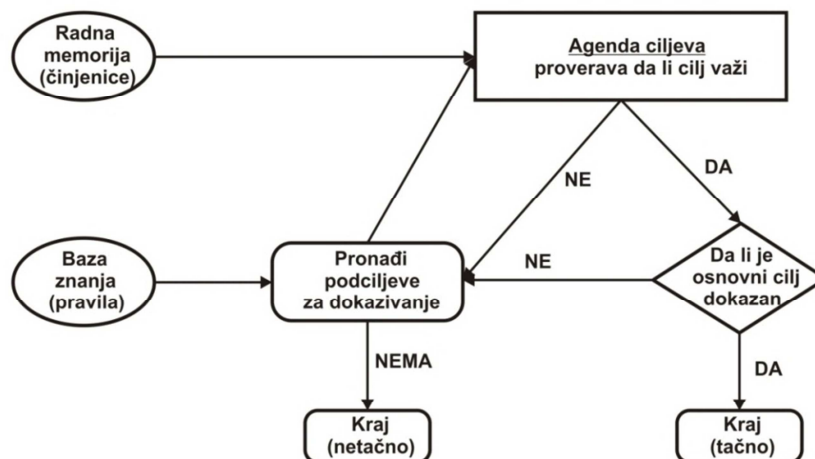
Постоји више стратегија резолуције конфликта тако да се код појединих система може бирати између више различитих:

- Дефинисање степена приоритета правила. На овај начин је могуће делимично смањити појаву резолуције конфликта јер у конфликт долазе правила истог степена приоритета. Међутим пошто је немогуће дефинисати јединствени приоритет за свако правило понаособ, што би у крајњој линији одузело „интелигенцију“ ЕС, на овај начин се само умањује проблем.
- Рефракција је појава у биологији да једном надражени неурон који зато произведе импулс, не може одмах поново да произведе нови импулс иако је надражај присутан, већ је потребно да протекне неко време после кога неурон поново може да реагује. Примењено на ЕС, уклања се активација

непосредно извршеног правила, иако услови за активирање тог правила могу и даље бити задовољени подацима у радној меморији.

- Старост чињеница у радној меморији је стратегија која се заснива на избору да се активирање правила врши чињеницама које су најстарије или најсвежије у радној меморији.

Уланчавање вођено циљем (организација од врха према дну) је у најкраћем опис механизма уланчавања уназад, чији је алгоритам приказан на Слици 7:



Слика 7: Алгоритам уланчавања уназад.

Код ове врсте уланчавања поставља се један или више циљева, а проверу остварљивости сваког понаособ врши механизам закључивања на основу базе знања и радне меморије.

Циљеви могу бити различитог хијерархијског нивоа и у том случају се прво полази од циљева вишег нивоа. У неким алатима, као што је то случај и код I2+ корисник има могућност да сам селекује циљ од кога ће се прво кренути. Ово се ради коришћењем опције *goalselct* и на овај начин се делимично контролише процес закључивања.

Да би циљ могао да се докаже потребно је да у бази знања постоји бар једно правило са закључком који је идентички једнак задатом циљу. У случају да је више таквих правила они формирају ИЛИ (OR) класу правила која може да подсећа на резолуцију конфликта код уланчавања унапред. Међутим разлика је суштинска јер овде сва правила имају једнак закључак, док код уланчавања унапред конфликтна правила могу да имају потпуно различите закључке што доводи до тога да избор правила које ће се активирати у потпуности може да промени ток закључивања, док код уланчавања уназад то није случај. Избор једног из ИЛИ класе правила се обично врши на основу фактора поузданости (CF) који им се додељује.



### 3.7. Унапред или уназад?

Како постоје две равноправне методологије уланчавања, а самим тим и алата за развој који их подржавају поставља се питање како извршити избор механизма уланчавања, односно алата за развој ЕС.

Ово је питање које смо и ми себи поставили када смо требали да се одлучимо коју методологију користити. Имајући у виду све особености проблематике која се односи на развој ЕС у области експерименталне физике као логичним нам се учинио избор методологије која иде од циља ка фактима па је ово био разлог да се у избору алата за развој ЕС који треба да материјализује логику неопходну за остваривање циља изабере онај који у процесу закључивања користи механизам уланчавања уназад. У пракси се ово показало као оправдан избор.

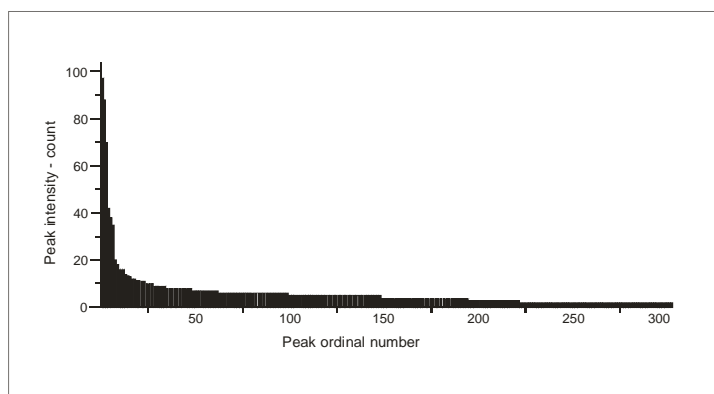
Овакав начин уланчавања пружа још једну велику предност, а то је избегавање конфликтних тачака, познат као резолуција конфликта. Бирањем основног циља (на пример: „Завршена анализа спектра“) за почетну тачку ЕС, сва остала правила постају „услови“, чију егзистенцију и вредност треба испитати како би се утврдило (потврдило) да је задати циљ испуњен.

Ипак, логика ЕС није увек имитативна у односу на логику експерта, мада и један и други имају исти циљ: „Завршена анализа спектра“, а то подразумева да се сваком пиком (максимуму одброја на неком каналу) придружи његова суштина и да се из спектра добију и све могуће бројне вредности а везано за конкретне физичке величине које су својствене појединим врстама спектра (на пример колика је активност појединих радионуклида или колики је диференцијални ефикасни пресек). То значи да пик не остаје само прост број (одброј) већ задобија значење било да оно кореспондира са неком енергијском променом у микро свету било, пак, да је прост електронски шум. Искусни експерт ће већ на „први поглед“ разликовати те две врсте пикова. Али од рачунара се тај „први поглед“ не може очекивати. ЕС треба тек да оспособи рачунар, силогистичком логиком, за то разликовање.

Оспособљавање рачунара силогистичком логиком се управо своди на покушај да се између осталог што више и што верније искуствена знања експерта уграде у силогизме. Као резултат се добија таква структура ЕС која пратећи механизам уланчавања уназад извршава одређене акције како би створио погодне и потребне услове (премисе) да завршни силогизам буде извршен.

Као илустрацију наведена је једну од кључних процедура, која се реализује низом силогизама који су засновани на искуственом знању експерта.

Ради се о основној концепцији која се користи за препознавање пикова у енергијском спектру а која се заснива на анализирању пикова у редоследу по *нерастућој величини*. Из фајла са спектром издвајају се сви пикови (максимуми) на основу критеријума да је разматрани број  $n_i$  на  $i$ -том каналу већи од броја  $n_{i-1}$  на предходном каналу и истовремено већи или једнак одброју  $n_{i+1}$  на следећем каналу. На тај начин се издвајају све структуре облика „крова“. Нађени одброји  $n_i$  са се са припадајућим бројевима канала уписују у посебан фајл у *нерастућем* редоследу.



Слика 8: Нерастући низ пикова [17].

Једна од основних претпоставки која се у анализи користи је да највећи издвојени пик не потиче од шума, већ да потиче од неког дискретног енергијског прелаза који се истражује. Ако то не би био случај и ако би највећи максимум потицао од шума, онда ни спектар не би био употребљив јер би то значло да је ниво шума велики и да спектар треба одбацити. Такође претпоставка је и да најмањи пикови у спектру потичу од шума. Други пик по величини већ може потицати од шума, али за логику ЕС то и није битно, јер се такви пикови могу на одговарајући начин детектовати и класификовати. Оваквим поступком, који одступа од логике експерта, лако се утврђује употребљивост спектра за даљу анализу, а ЕС се усмерава на нализу најинтензивнијих максимума, за које постоји највећа вероватноћа да потичу од енергијских нивоа. Уређивање у *неоппадајући* низ по интензитету врши се слично *индексирању* базе података. Разлика у односу на *индексирање* је у томе сто се *индексирање* врши по кључу који је јединствен за сваки слог, док одброји по каналима могу да буду исти (због тога се ово и назива *нерастући* низ, а не *оппадајући* низ). У том случају уписују се редни бројеви канала са истим интензитетом по реду по коме се и јављају у енергијском спектру.

Поменута знања и искуства искоришћена за опис процедуре као и сва остала неопходна знања и искуства чине *базу знања* (БЗ) која представља централни део сваког ЕС. БЗ се састоји од низа правила који су повезани у виду ланаца који се гранају. Ти ланци повезују један или више циљева са чињеницама које су познате, а *механизам закључивања* (МЗ) полази од циљева који су унапред задани. Да би БЗ имала смисла, сваки од циљева мора дословце да одговара закључку бар једног правила у БЗ. Закључак правила пак зависи од истинитости претпоставки или премиса, који могу бити

закључци неких других правила и тако даље. Покушавајући да докаже задат циљ, МЗ анализирајући правила иде све даље према улазним подацима (фактима) који су или резултати мерења, или подаци које уноси корисник или је то резултат рада неког другог програма. Ово је суштина процеса закључивања уназад.

Како је то искоришћено у конкретним ЕС?

За илустрацију су коришћени спектри из [37]. На почетку развоја ЕС дефинисан је један циљ који описује и сврху развоја датог ЕС:

*1 Завршена анализа спектра.*

Иако постоји могућност дефинисања више циљева, та могућност није коришћена. Разлог је тај што се тако смањује аутономија рада ЕС и врши укључивање корисника у већој мери у процес закључивања. Процена је да дата сложеност проблема дозвољава овакво размишљање и да овако дефинисани циљ у потпуности може да одговори потребама датог проблема. Самим тим то је циљ највећег приоритета. Он је уједно и закључак правила „*Крај анализе*“ које крунише целокупан процес рада ЕС:

*RULE Kraj analize*

*IF Ulazni podaci*

*AND Imena datoteka*

*AND Izvršena identifikacija*

*AND Izvršena izračunavanja*

*AND Upisivanje podataka u datoteku*

*THEN Završena analiza spektra.*

У питању је правило са више услова међусобно повезаних оператором AND, што упућује на неопходност испуњености свих услова како би се поменуто правило извршило и самим тим се стигло до жељеног циља, односно да би се процес анализе спектра завршио.

Као што је наведено у складу са методологијом уланчавања уназад, ЕС се позиционира на правило „*Крај анализе*“ и креће да га доказује. Идући од крајњег закључка, преко низа услова, низ разгранату структуру правила долази до почетног правила које у себи садржи, назовимо их, базне премисе које представљају почетну групу података неопходних за почетак рада ЕС.

*RULE Ulaz*

*IF Element sa kojim se radi <>""*

*AND Upadna energija\_eV>=0*

*AND Ugao<=-30*

*AND Donja\_energija\_gubitaka\_eV>=0*

*AND Gornja\_energija\_gubitaka>=0*

*AND Rezolucija detektora\_eV>=0*

```
AND Broj kanala=512
OR Broj kanala =1024
AND Sistematska greska napona>=0
THEN Ulazni podaci
ELSE Ponovo
AND FORGET Elemenat sa kojim se radi
AND FORGET Upadna energija_eV
AND FORGET Ugao
AND FORGET Donja_energija_gubitaka_eV
AND FORGET Gornja_energija_gubitaka
AND FORGET Rezolucija detektora
AND FORGET Broj kanala
AND FORGET Sistematska greska napona
AND DISPLAY Podaci na ulazu
AND CYCLE
```

Правило под именом „Улаз“ има закључак једнак премиси „Улазни подаци“ правила „Крај анализе“. Условни, IF део правила, је сложен и у њему се налази више премиса, повезаних логичким операторима AND и OR, које могу у општем случају да буду познати факти или закључци неких других правила. У овом конкретном случају премисе за правило „Улаз“ проверавају да ли улазни подаци у дозвољеним опсезима. Садржај премиса наведеног правила је одређен конкретном проблематиком и наведена група премиса је карактеристична за energy-loss spectra [39]. То су истовремено чињенице чија се истинитост директно може проверити, тако да се за доказивање овог правила не морају активирати нека друга правила. Да би правило било доказано потребно је да све премисе које се налазе у IF делу буду тачне у случају оператора AND, односно бар једна у случају оператора OR.

Код система за уланчавање уназад, може се користити још једна могућност: извршавање алтернативне гране правила коришћењем наредбе ELSE, (IF...THEN...ELSE), у случају када један или више услова правила нису задовољени. До извршавања правила из ELSE гране долази само у случају уланчавања уназад. Када би таква могућност постојала код система са уланчавањем унапред, извршавање такве алтернативне гране не би било детерминисано већ би се могли извршити било када уколико дати услови нису испуњени.

Када је завршио испитивање ове премисе, ЕС прелази на следећу „Имена датотека“. Ово такође припада базичним условима којима се дефинишу имена табела које се користе у раду ЕС и којих има више, почев од табела са снимљеним спектрима, шумом, енергијама, па до табела које се формирају како би се у току рада у њима бележили подаци до којих ЕС дође и који се касније користе у даљем процесу анализе. Број и структура ових табела је директно условљена захтевима и начином

функционисања ЕС. На идентичан начин ЕС приступа испитивању сваке од наведених премиса правила „Крај анализе“. Када су сви услови испуњени ЕС завршава рад, задати циљ је реализован и процес анализе је готов.

Као што је већ наведено потребно је да постоји бар једно или више правила чији је закључак дословце (literally) једнак циљу који се доказује. Уколико је више таквих правила она формирају ИЛИ класу (OR class) правила. Избор једног правила из ИЛИ класе може да подсећа на резолуцију конфликта код уланчавања унапред. Сустинска практична разлика у односу на механизам уланчавања унапред је та што сва правила код уланчавања уназад имају исти закључак – једнак циљу, док код уланчавања унапред конфликтна правила могу имати сасвим различите закључке, тако да се избором правила које ће се извршити (промена стратегије резолуције конфликта) мења и контекст, односно само закључивање. У нашем случају конкретно база је прављена тако да постоји једно правило чији је закључак идентички једнак циљу.

Непостојање резолуције конфликта је једна од главних предности алата који користе механизам закључивања уназад. Ова чињеница директно утиче на стабилнији и поузданији рад ЕС, као и на мању потребу коришћења CF фактора чија је улога управо да врши усмеравање уланчавања правила у циљу избегавања ситуације да су испуњени услови за истовремено активирање више правила, па им се често прибегава код механизма уланчавања унапред.

## 3. 8. Развој експертног система

Развој ЕС је сложен процес у коме учествују:

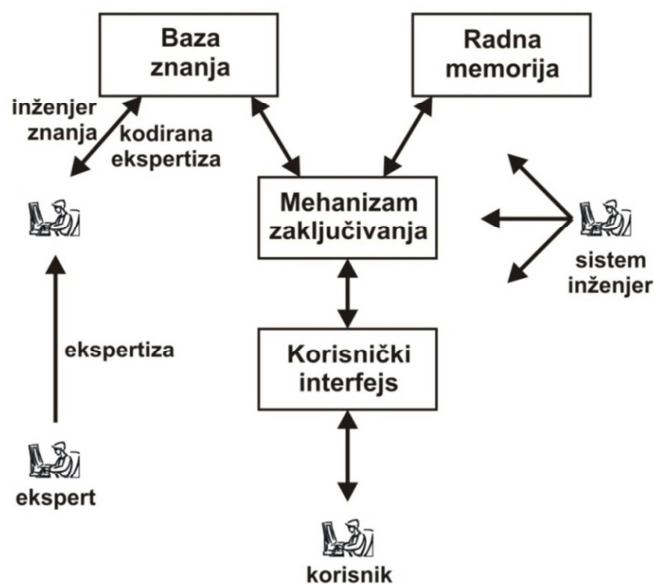
- Експерт – особа која, из одређене области, поседује знања и искуства, које су већини људи недоступна и која ће омогућити решавање датог проблема. ЕС треба да симулира активност експерта и да реши проблем на начин на који би то експерт урадио.
- Инжињер знања – особа која познаје софтверски алат који омогућава имплементацију свих знања и искустава у ЕС, који ће се користити за решавање проблема. Његов задатак је дизајнирање, тестирање, инсталирање и одржавање ЕС.
- Корисник – особа која користи ЕС.

Фазе развоја ЕС су:

- Идентификација проблема,
- Избор софтверског алата за развој,
- Прикупљање и анализа знања релевантних за дати проблем,
- Формализација и развој базе знања,

- Реализација и развој ЕС,
- Евалуација, провера и проширење ЕС,
- Дугорочни развој.

Графички, описани процес развоја могао би да се прикаже као на Слици 9:



Слика 9: Развој ЕС.

Свака од наведених фаза је подједнако битна, тако да једино темељно планирање и реализација сваке понаособ, представља сигуран пут ка успешно развијеном ЕС.

Овде посебно треба нагласити значај фазе *Евалуација, провера и проширење ЕС*. Наиме у пракси се показало да без обзира на испоштовану процедуру развоја, добијени ЕС је у почетку обично незадовољавајући (недовољно добар). Разлог је практичне природе. Експерт често у првом интервјују заборави да спомене нека правила и рутине која се по њему подразумевају, или их примјењује аутоматски, малтене несвесно. Због тога је веома важно извршити евалуацију ЕС при којој се у ЕС могу додатно имплементирати запажња корисника, као и уградити нова правила. Ова фаза се одвија интерактивно на релацији ЕС - корисници и експерт, и треба да траје све док се не добије задовољавајући ЕС. Да би се могло на једноставан начин извршити кориговање развијеног ЕС веома је битно да буде флексибилан, односно приступачан за промене.

Додатно ЕС поседује одређене предности у односу на експерта које се могу видети из Табеле 2 која приказује неке упоредне карактеристике експерта и ЕС:

Фактор	Експерт	Експертни систем
Расположивост	Радним даном	Увек
Географски	Локално	Било где
Сигурност	Незамењив	Замењив
Несталност	Да	Не
Перформансе	Промењиве	Конзистентан
Брзина	Промењиве	Конзистентна и обично већа
Цена	Висока	Прихватљива

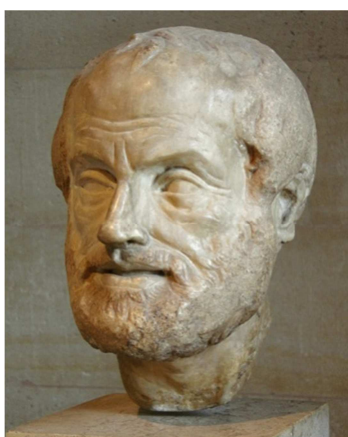
Табела 2: Упоредне карактеристике експерта и ЕС.

## 4. Методологија и реализација експертних система

Постоји више дефиниција логике али се суштински све свODE на исто - да је логика наука која се бави законитостима исправног мишљења<sup>12</sup>. Као таква треба да има за циљ да направи разлику између валидног и невалидног закључивања. Имплементирана у ЕС омогућава налажење валидних закључака из базе знања за дати проблем.

Реч логика потиче од грчке речи "logos" која има више значења, а нека од њих су: говор, реч, својство, истина.

Логика има веома дугу историју. У почецима грчке геометрије и математике су јасно примењене технике мишљења које ће Аристотел сматрати кључним за логику.



Слика 10: Аристотел.

Дедуктивно закључивање је први употребио Талес, доказавши неколико теорема о подударности троуглова. Веома заслужан за развој дедуктивног метода био је и Питагора. Сократ је указао да прави пут до знања води преко универзалне дефиниције, док је Платон издвојио појмове као кључне за наше мишљење. Такође неки кључни елементи логике могу се наћи и код појединих кинеских и индијских филозофа, али логика тј. форма мишљења као потпуно систематизована дисциплина, почиње са Аристотелом.

*Аристотел (384 - 322 г.п.н.е.) је познати старогрчки филозоф и беседник. Био је Платонов ученик и једна од најутичајнијих личности у историји европске мисли. Његово место рођења, Стагира, припадала је македонском полуострву и била је део грчке колоније. Потпун је из познате и утицајне породице за коју се верује да је од давнина служила македонским краљевима.*

*Његов отац је радио као дворски лекар деде Александра Великог - Аминтаса III Македонског. Поткован знањем о медицини од стране оца отишао је у Атину са 18 година и до своје 37. године је похађао Академију као Платонов ученик. Иако нема доказа да су током његовог боравка на Академији односи између два филозофа били затегнути, зна се да су неслагања постојала. Главни разлог „неслагања“ лежао је у приступу. Платон је заступао идеалистичке*

---

<sup>12</sup> Ибн Рушд, андалузијско-арапски филозоф и физичар, стручњак за филозофију, исламско право, математiku и медицину, је у 12ом веку логику дефинисао као “Логика је алат за разликовање између истинитог и лажног”.



ставове док се Аристотел ослањао на природне чињенице. Око 335. г.н.е. одлази у Атину и отвара сопствену филозофску школу, Лицеј<sup>13</sup> и уводи појам **физика** (гр. *φυσικη* - природа).

Аристотел се бавио облицима закључивања.

Написао је шест књига о логици: Категорије<sup>14</sup>, О тумачењу<sup>15</sup>, Прва аналитика<sup>16</sup>, Друга аналитика<sup>17</sup>, Топика<sup>18</sup>, Софистичка побијања<sup>19</sup> које су познате под колективним именом *Органон* (4<sup>th</sup> BC) [40] што значи Инструмент, Оруђе и која тачно изражава како Аристотел схвата логику, као инструмент за научно и филозофско истраживање реалности. За методологију експертних система битан је део *Прва аналитика*, који се односи на рефлексију, а то је она форма мишљења која се полазећи од чињеница орјентише на њихову систематизацију, анализу и закључивање.

Аристотелов највећи проналазак у логици је силогизам.

*"A deduction (syllogism) is a discourse in which, certain things having been supposed, something different from the things supposed of necessity because these things are so".*

(Prior Analytics A.1., 24b18-22)

Формализам силогизма се карактерише добро дефинисаном синтаксом која омогућава формирање великог броја правила у сврху добијања нових знања. У основи се састоји из три елемента: премисе 1, премисе 2 и закључка. Аристотелов силогизам има премисе у следећеј форми "All A are B", "Some A are B", "No A are B" или "Some A are not B". Аристотел је креирао логички систем у коме предикати и субјекти могу да буду представљени словима.

Суштина силогизма може да буде разматрана на конкретном примеру. Ово је важно због будуће анализе методологије ЕС. У ову сврху креће се од претпоставке "Сви Грци су смртни" (на пример). Ова претпоставка је различита од свих других могућих претпоставки. Јединствена је. Али "претпоставка" не може бити креирана сама по себи. Као закључак она је производ неких других премиса. Очигледно је да су за сваки закључак потребне најмање две премисе. За претходно наведени пример те две премисе су: "Сви људи су смртни" и "Сви Грци су људи". Тако да се закључак "Сви Грци су смртни" дели на два елемента и сада имамо три ставке, не једну: премису1, премису2 и

---

<sup>13</sup> Школа је била организована на начин да је Аристотел давао редовне часове из филозофије у гимназијуму саграђеном у част Аполона Ликијског, по којем је школа и добила име.

<sup>14</sup> *Categories*, учење о основним облицима бића и мишљења.

<sup>15</sup> *On interpretation*, у коме Аристотел излаже учења о ставу, о суду и о модалитетним исказима.

<sup>16</sup> *Prior Analytics* односи се на рефлексију.

<sup>17</sup> *Posterior Analytics* у којој је изложено учење о доказивању, дефиницији и класификацији и сазнању на основу принципа.

<sup>18</sup> *Topics*, садржи учење о дијалектичком и вероватном закључивању и доказивању.

<sup>19</sup> *Sophistical Refutations*, садржи анализу и критику софистичких тј. привидних и лажних доказа.

закључак. Међутим закључак није само прост спој (збир) својих премиса јер би онда гласио “Сви људи су смртни и сви Грци су људи“, већ је он јединство својих премиса. Шта значи јединство видимо по томе што су у закључку задржане главне одреднице из обе премисе “Грци“ и “смртни“ док се “људи“ не појављују. Овакво закључивање које полази од две или више премиса и код кога се неки појмови који се појављују у премисама не појављују у закључку се назива посредно закључивање. Појмови који се на појављују у закључку називају се „средњи појмови“ и служе као веза преко које се врши закључивање.

Следи да закључак није нешто независно, самостално, само по себи, нешто аутохтоно већ је производ који настаје "спајањем" две премисе, на начин да се делови премиса појављују у закључку као његови елементи.

Други важан моменат везан за *силанизам* (закључак) је питање валидности силонизма. Силонизам може бити валидан или не. Као што је већ наведено, силонизам су структуре састављене од премиса од којих свака може бити тачна или нетачна. Овде постоји разлика у тврђењу да је премиса нетачна и тврђења да је логика неисправна (погрешна). Али неопходно је нагласити да чињеница да лоше селекција премиса може да доведе до „погрешног“ закључка, не значи да суштина силонизма није очувана. На пример :

Мачка је сисар	Сократ је сисар,
нужно следи:	

Сократ је мачка.

Ово је валидан силонизам и закључак је у потпуности тачан са становишта логике. Можда делује чудно, али се базира на томе што из две дате премисе увек следи један и само један закључак. Сасвим је друга ствар што понекад закључак добијен из датих премиса не одговара нашим представама или навикама, па га ми на бази већ развијеног вредносног система проглашавамо без-мисленим. То наравно делује без-мислено али ту није "крив" силонизам као такав, већ погрешно изабране премисе, а њих управо ми бирамо. Што се самог силонизма тиче његова функција је у потпуности одржана и он је као такав, као што је већ речено, апсолутно тачан.

У оваквом случају потребно је анализирати сваку премису понаособ и видети да ли је одговарајућа. Уколико није, истинитост закључка није загарантована.

*„Истинити и први јесу ставови који добијају своју извесност не од других ставова, него сами од себе. Јер не треба питати за узрок принципа наука, него сваки од тих принципа треба да буде сам по себи извештан.“*

Аристотел, Органон, стр. 371.

Ова форма мишљења је имплементирана у ЕС.

На основу свега наведеног, јасно је да ће чињенице које је експерт накупио, мерећи, посматрајући и бележећи, представљати скуп премиса, док ће силонизми који настају из

тих премиса чинити основу онога што се уобичајено назива *анализом резултата мерења*. На први поглед овде се стиче утисак да је фаза прикупљања чињеница (факата) приликом мерења, посматрања и бележења неко пасивно стање сазнања, јер чињенице су ту (притисци, напони, влажност, температура, еритроцити или пак леукоцити у крви, тежине, запремине итд) и треба се просто њима снабдети за потребе анализе. Али ствар не стоји тако, јер се сакупљање података не врши случајно већ је унапред одређено (дефинисано) од стране експерта, који врши селекцију, тј. одбир онога шта ће се мерити, а шта неће, када ће се то мерити, и оно што је најважније, зашто ће се нешто мерити.

Ово комплентно мења ситуацију. Чињенице (факти) нису проста датост.

Посматрач одлучује шта ће бити узето и коришћено за даљу анализу, или пак одбачено као непотребно. Шта више он не само да својом вољом одлучује о прихватању или неприхватању факата, већ истовремено вреднује, тј. неке обсервације поставља као кључне, неке друге као мање важне, а опет неке треће као оне који се могу занемарити.

У сваком случају, селекција коју обавља свесни посматрач није нека самовољна делатност која проистиче из личних потреба или страсти, већ је то планирана активност која мора базирати на већ унапред формираном теоријском моделу.

*„...јер иначе случајна посматрања, која нису вршена по какавом унапред израђеном плану, не стоје ни у каквој међусобној вези у једном нужном закону који је уму потребан и који он тражи“.*

Кант [41]

Чињенице, било да су сакупљене селективно или неселективно, плански или неплански, институционално или ванституционално, саме по себи не значе ништа док се над њима не изврши *анализа*<sup>20</sup>, то јест док се логичким операцијама (силогизмима) не установе везе међу њима, док се не испитају њихови односи, односно, док се не установи законитост понашања које те чињенице везује у једну целину, дајући истовремено и оправдање не само за њихов одбир већ и за њихово постојање.

Али и у фази анализе постоји озбиљна дилема. Са једне стране анализи се може приступити на следећи начин:

1. *Постоје чињенице!! Теорија се, дакле, мора тако удесити да што је могуће боље одговара чињеницама.*

Кант [42]

Овај модел полази од става да само чињенице (обсервације) имају реалност, да су оне апсолутна, непроменљива датост, независна од нас, тј. од посматрача. Њима припада истинитост, док је теорија, тј. оно што повезује чињенице у целину, оно што објашњава

---

<sup>20</sup> Анализа је други кључан моменат ЕС.

збивање, нешто што представља људску спекулацију, која може бити тачна или нетачна, па је самим тим и релативна. Другим речима збивања, процеси, до којих се на бази анализе чињеница долази су *a posteriori*, оно што је изведено, или чак произведено од стране експерта који анализира чињенице. Процес (теоријски модел) је, дакле, последица опсервација, а не узрок.

Овакав приступ намеће аналитички поступак који полазећи од чињеница, низом силогизама долази до коначних ставова (закључака). Тај поступак се у ЕС назива *закључивање унапред*.

Ту сада наступа противуречност, јер чињенице нису случајне, већ изабране, тј. селектоване од стране самог посматрача и то по већ унапред утврђеном плану.

*Сакупљање чињеница, као планирана активност, се врши на бази већ постојећег теоријског модела, па је ствар у суштини обрнута, теоријски модел одлучује шта ће се мерити или рачунати тј. теоријски модел је a priori, чињенице су из њега изведене, или још тачније произведене, оне су тек a posteriori. Садржину теоријског модела не чине мерене величине већ њихове везе и односи, што значи да теоријски модел за своју садржину има процесе и збивања који као такви немају своју сопствену појавну (чулну) страну већ се реализују, постварују, на неком материјалу, и тек та реализација формира чулну страну. Процес се дакле реализује на неком материјалу, тј. Он обликује неку супстанцу и на тај начин задобија појавну, односно чулну страну. Ипак, ни материјал није апсолутно пасиван, већ пружа отпор свом преобликовању (инерција на пример, отпорност материјала, еластичност итд..) па сама реализација процеса може бити више или мање успешна (биљка која увене -> лоше реализован живот, развијена биљка -> добро реализован живот, добар производ -> добро реализован процес производње, лош производ-> лоше реализован процес производње...). Појавна страна може дати врло различите, чак супротне резултате у реализацији неког процеса на неком материјалу. Самим тим је чулна евиденција, оно што се назива чињеницама уствари релативна. Један исти процес се може реализовати успешно или неуспешно, и уколико се ослонимо само на чињенице, само на оно што је чулно евидентно, тада се спознаја своди на неко лутање од факта до факта, без икакве сигурности у ред и смисао.*

Ово чини ситуацију потпуно другачијом у смислу приступа подацима. Знање као своју садржину мора имати процесе, тј. релације и односе, а чињенице се појављују тек као евентуална потврда појмљених процеса [41], јер :

*„Када је Галилеј пустио своје кугле да се котрљају низ стрму раван брзином коју је сам изабрао, или када је Торичели учинио да ваздух носи један терет који је он предходно*

замислио као једнак са теретом једног њему познатог воденог стуба, тада свим испитивачима природе сину једна нова светлост. Они су схватили да УМ (мисао, разум, интелигенција) увиђа само оно што САМ производи према свом плану, да он мора према принципима својих судова ићи напред према сталним законима и нагонити природу да одговара на његова питања, а не сме дозволити да га природа тако рећи вуче на поводицу; јер иначе случајна посматрања која нису вршена по какавом унапред израђеном плану не стоје ни у каквој мађусобној вези у једном нужном закону који је уму потребан и који он тражи.“

Експерт у свом, сада можемо рећи, систему знања мора поступати на следећи начин: полазећи од процеса (теорије) декомпозицијом преко низа силогизама доспева до елемената које је могуће мерити (посматрати, обсервирати) и који му *служе* ради провере. При томе их он просуђује (вреднује) и у складу са својим знањем их прихвата или одбацује. Уколико су факта у складу са теоријом процес је добро реализован, уколико пак нису, закључује се не да теорија није добро формирана већ: или је мерена величина лоше изабрана или је пак материјал на коме се врши реализација лоше изабран. Односно:

2. *Постоји теорија!! Чињенице се, дакле, морају тако удесити да што је могуће боље одговарају теорији.*

Овакав поступак се у ЕС назива *закључивање уназад*<sup>21</sup>.

Развој ЕС захтевао је увођење нове нотације базиране на оригиналној дефиницији силогизма [43,44]. Једна од њих је позната као “правило”.

“Правило је први Аристотелов силогизам у форми: *if...then*” [45].

Стање или сет стања после *if* представља оно што може бити посматрано или мерено и може се звати *премиса*. Стање или сет стања после *then* представља *закључак*. У овом смислу, може се предпоставити да се база знања ЕС, састоји од силогистичких форми које представљају врсту логичког закључивања, дефинисаног као процес тражења валидног закључка [47]. Са логиком ЕС може да генерише нове информације на основу постојећег знања уграђеног у базу знања.

---

<sup>21</sup> *“Већина људи, ако им описете ток догађаја, рећи ће вам какав ће бити исход. Они у мислима спајају те догађаје и из њих закључују да ће се нешто одиграти. Мало има људи који су у стању да вам, ослањајући се на опис догађаја и на своју подсвест, кжзу који су разлози довели до самог догађаја. То је та моћ на коју циљам када говорим о закључивању уназад, или аналитичком мишљењу.” - Sherlock Holmes (Sir Arthur Ignatius Conan Doyle, Crvena nit [46]).*

## 4.1.Реализација

Сада када је ЕС методолошки заснован може се прећи на разматрање његове реализације уз употребу рачунара тј. на разматрање могућности и граница његове аутоматизације.

Реализација сваког ЕС започиње, са *експертом*, или *експертима* тј. са субјектима, који у оквиру области коју неки ЕС треба да покрије, поседују “обимна знања”. Та “обимност” је корисна за саму реализацију, али се мора имати у виду да су они процедуре својих истраживања много пута успешно прошли, често не примећујући да су своје токове закључивања, који су у почетку били чисто силогистички, у много чему шематизовали, да су неке низове логичких операција претворили у навику. Тако на пример када „експерт“ из области атомског судара, види на јонизационом мерачу податак:  $P = 4,5 \times 10^{-7}$  Тога он закључује да је „вакуум у комори добар“. Из овога би следило да он изводи закључак из само једне премисе, тј. да свој став проверава на бази само једне премисе, што је наравно немогуће. Тај исти податак неком лаику који не ради у области електрон-атомских судара, који не познаје електронски спектометар на који је прикачен дати мерач не би значео ништа, он из њега чак и ако је физичар не би могао извести никакав закључак. Став „вакуум у комори добар“ проистекао је из праксе, при чему је сам експерт имао у виду, не понаваљајући комплетну логичку процедуру, да је мерач везан за комору, да су укључене и механичка и дифузиона пумпа, да је дифузиона пумпа достигла температуру испумпавања, да је сипан течни азот у трап, да је отворена једна славина, а да су друге две затворене, да је извршена дегазација јонизационе главе итд. У свом закључивању „вакуум у комори добар“, „експерт“ прескаче све ове чињенице, односно премисе, и формира став из праксе и на бази тог става одлучује о даљој акцији. Уколико би сада неко хтео да аутоматизује контролу вакуума на бази експертног знања очигледно би имао великих потешкоћа. Овај пример, мада једноставан или чак баналан указује на чест проблем у развоју експертних система.

Чињеница је да чак и у ситуацији да сам „експерт“ жели да развије ЕС, он ће бити принуђен да своје знање сагледа у целости, да превазиђе навике, да деконпонује ставове на почетне премисе, а те премисе на елементе све до нивоа величина које се могу обсервирати тј. мора се понашати по упутству из Аполоновог храма у Делфима које гласи:

**СПОЗНАЈ СЕБЕ (*γνῶθι σεαυτόν*)( Know thyself)**

што представља божански, а то значи врло тежак задатак.

С друге стране, низ ставова које је имао у виду у тренутку формирања става „вакуум у комори добар“ по својој форми представља неку врсту аутоматизације. Јер, у почетној фази, док је „експерт“ упознавао вакуумску технику, проверавао је сваки детаљ појединачно, (на пример: вентил се затвара окретом у десно; вентил је окренут у десно; → вентил затворен...) али се тај низ силогизама временом претворио у аутоматску реакцију.

Поставља се питање, ако већ постоји аутоматска реакција једног експерта, да ли се она може директно пренети и у ЕС, односно може ли се та пречица директно користити и на нивоу логике машине, рачунара, како би реакција рачунара била бржа, или је пак неопходно остати методолошки доследан и овај задатак („вакуум у комори добар“ на пример) решавати низом логичких операција на нивоу силогизама.

На пример у овом конкретном случају чињеница:

$$P = 4,5 \times 10^{-7} \text{ Торг} \rightarrow \text{став „вакуум у комори добар“} \rightarrow \text{акција „Укључујем снимање спектра“},$$

аутоматско понашање машине се може тривијално реализовати. Потребно је напонски сигнал са јонизационог мерача довести преко АД конвертора на картицу за аквизицију, нумеричку вредност тог сигнала упоредити са унапред задатим нумериком у меморији рачунара, уколико је једнакост нумерика установљена, преко ДА конвертора се активира вишеканални анализатор и све то траје неколико милисекунди, односно далеко брже него што „експерт“ може да обави.

С друге стране, проблем се може решити и провером свих могућих факата (физичких чињеница) (затвореност или отвореност разних вентила, температура дифузионе пумпе, температура трапа са азотом, ...) што је могуће остварити разним сензорима и напонским или струјним давачима, а затим системом типа IF ... THEN ... ELSE, машину „оспособити“ да „одлучује“ о укључивању вишеканалног анализатора.

Ово друго решење је очигледно компликованије, али суштина ЕС није ствар његове једноставности или компликованости већ његове *тачности*. Циљ је да се омогући *тачна* реакција, *увек*, чак и у оним случајевима када би сам експерт због чувеног "фактора човек" могао да погрешити.

Наведени пример је крајње једноставан, али је сам проблем принципијелан. Поставља се питање *у којим случајевима аутоматска реакција експерта може да се преслика (транспонује) у аутоматску реакцију рачунара?*

Одговор може бити и реторички, тј. може се рећи да то зависи од случаја до случаја и да сам експерт мора за сваку такву ситуацију појединачно одлучивати имајући у виду потребу *тачности* ЕС. Другим речима избор решења зависи од неке самовоље самог експерта, његовог расположења или острашћености. Наравно ЕС се и тако могу

градити и развијати, али може се поставити и питање да ли је могућа нека објективизација таквих ситуација, тј. да ли је могуће наћи *принцип* на бази кога би се *аутоматска реакција експерта могла пресликати (транспоновати) у аутоматску реакцију рачунара.*

Да би се до тог принципа дошло потребно је размотрити у кратким цртама природу ставки (физичких чињеница) са којима се сусрећемо у развоју неког конкретног ЕС. Ако је реч о ЕС у физици, тј. ЕС који је се развија над неким физичким експериментом тада се факта на којима је потребно реализовати теоријсаки модел, могу поделити у две групе.

Први скуп би чиниле оне величине које одређују услове за одвијање датог експеримента, док би другу групу формирала она факта која директно или индиректно учествују у анализи резултата мерења, при чему то не морају бити само мерене величине које проистичу из самог експеримента.

Већ сама ова подела указује на могућност оптимализације наведеног проблема, јер "услови" под којима је могуће реализовати дато мерење на датом експерименту се просто свде на један листинг (списак) одређених, у највећој мери нумеричких података чије се вредности, као и границе одступања унапред знају (притисак мањи од \_\_\_\_, примарна струја снопа већа од \_\_\_\_, температура пећи већа од \_\_\_\_ и мање од\_\_\_\_, угао детектора једнак \_\_\_\_....) и уколико нису испуњени експеримент се просто прекида јер добијена мерења неће бити поуздана. Наравно да су сва ова факта и ако изражена у нумеричкој форми уствари закључци односно резултати, продукти низа логичких акција, као што је то мало пре напоменуто, али у односу на физички процес који се изучава она се не појављују као суштински елемент већ само као егзистентни. Односно потребна је њихова егзистенција, да би се процес одвијао, али нити њихова егзистенција нити пак њихова есенција не учествује у садржини, суштини онога што се изучава. Сасвим је јасно да се у оваквим случајевима може обавити директно пресликавање аутоматске реакције експерта на аутоматску реакцију рачунара, јер се ту ради о простој провери стања система. Другим речима, довољна је проста „имитација“ понашања експерта.

Али, ствар сасвим друкчије стоји када се ради о фактима која произилазе из самог експеримента, тј. о величинама које директно учествују у анализи истраживаног физичког процеса, јер те "чињенице" (рецимо одброј на неком каналу у спектру, ширина неког пика, или пак његова позиција) представљају, додуше важан, али врло мали део укупног аналитичког процеса, на пример неког спектра, који се обавља. Јер ту је неопходан пре свега познавање теоријског модела на основу кога је експеримент и формиран, дакле начин, тј. релације којима ћемо мерене величине да повежемо међусобно (рецимо диференцијални ефикасни пресек), затим су потребна поређења са резултатитима других аутора рађених истом или другом методологијом, процена



грешке мерења, разне калибрације скала итд. Већ из самог овог набрајања је јасно да се у области анализе резултата мерења, неке аутоматске реакције (закључци) експерта тешко могу очекивати. Можда ту и тамо нека „кгаџса“ у логичком следу закључивања, која базирана на искуству (рецимо после анализе великог броја спектара), али чак и у таквим случајевима те „кгаџса“ нису апсолутно сигурне и најчешће се касније проверавају.

Поставља се питање: *Да ли је могуће и како, „аутоматизовати“ аналитички процес експерта, када чак ни он у тој фази рада нема аутоматских реакција.*

Одговор на ово питање представља кључну тачку реализације једног *ЕС* а одговор је позитиван: *могуће је „аутоматизовати“ аналитички процес експерта.*

Овај одговор проистиче директно из мало пре наведених Кантових анализа, јер ту се не ради о неким *случајним посматрањима, која нису вршена по какавом унапред израђеном плану и која не стоје ни у каквој мађусобној вези у једном нужном закону који је уму потребан и који он тражи, већ* напротив о *планском посматрању базираном на унапред познатом теоријском моделу.*

Уколико је дакле, експеримент формиран по унапред познатој теорији, а формиран је, уколико је селекција величина које ће се мерити извршена на бази те исте теорије, а јесте, уколико се рачунања врше на бази реалција које проистичу из те теорије, а врше се, уколико се, дакле, анализа резултата врши на бази те исте теорије, а врши се, итд... онда почевши од теоријског модела који је *a priori* па идући све ниже ка мереним величинама (фактима) који су дакле *a posteriori* мора нужно постојати логички след који из теорије "производи" факта, или још боље који теорију реализује на фактима. Уколико је тај низ *нужан* реализација *ЕС* за фазу анализе је не само могућа, већ и логички утврђена.

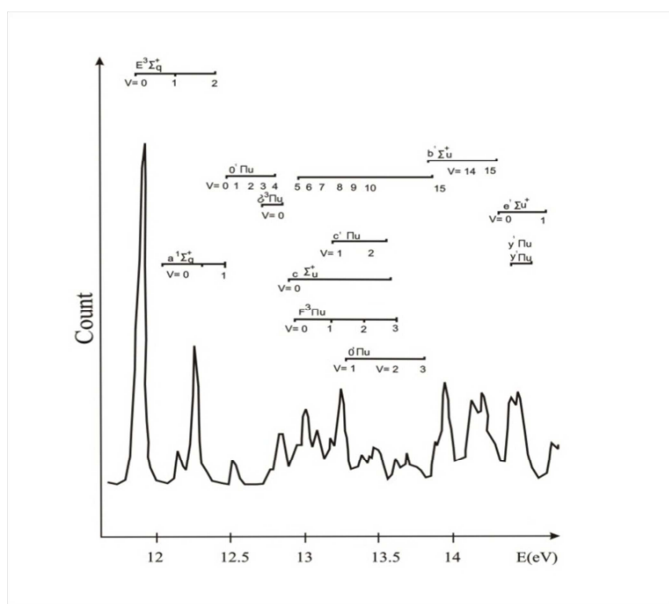
## 4.2. Апликација

Како примена *ЕС* у анализи може да допринесе повећању брзине анализе биће илустровано на примеру дискретних спектара који за велики број процеса који се истражују у експерименталној физици представљају базну мерну форму. До њих се долази различитом експерименталном методологијом (сударни процеси честица, радиоактни распад, ексцитација, деексцитација...), а исто тако и њихова суштина може бити сасвим различита (интеракција између елементарних честица, атома, молекула, електромагнетног зрачења...итд).

Ипак независно од тога како су добијени, сви такви спектри имају две заједничке карактеристике:

- Заједница форма: састоје се од два низа целих бројева од којих један представља број канала, а други одброј догађаја на датом каналу,
- Садрже информације о процесу који је истраживан – а до њих се долази анализом спектра.

У зависности од врсте експеримената, односно мерања добијају се различите форме дискретних спектара при чему се различитост односи на степен дефинисаности карактеристичних структура. На Слици 11 је као илустрација дат део спектра прагова азота,  $N_2$ .



Слика 11: Део спектра прагова  $N_2$ [34].

Наведени спектар може да послужи као добра илустрација јер се на њему могу видети како јасно дефинисане структуре, на пример пик стања  $2^1s$ , тако и оне мање дефинисане које настају као последица суперпонираних пикова које су уочљиве на вишим енергијама. Управо овакве мање дефинисане структуре су посебно интересантне са становишта анализе ЕС.

Експерт из дате области може неке од ових структура да препозна „на први поглед“. Међутим „први поглед“ се не може очекивати од једног ЕС. Ово специфично знање мора да буде уграђено у одговарајући ЕС путем продукционих правила. Развијањем ЕС циљ је да се формира ситем закључака (силогизама) који ће омогућити да се из два низа целих бројева доспе до сазнања о процесима у микро свету.

Да би се омогућила анализа различитих врста спектара (energy-loss спектри, спектри прагова атома и молекула, спектри природних радионуклида) развијено је више ЕС.

Сви имају заједничку нит али и разлике условљене специфичним проблемом који се решава<sup>22</sup>.

Ова нит је имплементирана кроз следеће кораке:

- Улаз података,
- Позив програма за нумеричка израчунавања,
- Налазење и издвајање свих пикова (максимума) у нерастући низ,
- Процена односа  $S/N$ ,
- Налажење референтних пикова и одговарајућих енергијских нивоа,
- Калибрација енергијске скале,
- Процена резолуције,
- Идентификација и класификација пикова,
- Бележење података добијених анализом спектра у базу података,
- Преглед анализираних података,
- Интерпретација резултата рада.

Наведени кораци представљају „кичму“ ЕС. У зависности од специфичности појединачних спектра наведена структура се прилагођава и надограђује специфичним корацима који чине примену ЕС у потпуности прилагођеном датом проблему [34,35,36,37,38]. На пример, при анализи спектра прагова вишеатомских молекула [35] та специфичност се огледа у генерисању спектра. Наиме код вишеатомских молекула класична анализа обухвата само онај део експерименталних података који одговара структурама које су добро покривене подацима. Надоградња ЕС је требала да покаже да ли ЕС може, на основу познате минималне количине података да генерише спектар који би одговарао експериментално добијеном, што би омогућило анализу карактеристичних структура спектра вишеатомских молекула.

## 4.3. Резултат

Суштина анализе експериментално добијених спектра је идентификација пикова. Идентификацијом сваки пик добија физички смисао. Ово практично значи да пик није само прост одброј, већ да има конкретно физичко значење које може да одговара прелазу између два енергијска нивоа (на пример) или може да буде шум. Да би се

---

<sup>22</sup> Принциписки овде може да се нађе сличност са „...The standard procedures of empirical search for laws of nature proceed like in the past. The new thing is reflected in the increased dependence of scientists also on mathematical analogies. Scientists look for laws that have similar mathematical form to those which they want to generalize or even replace because they do not have any other possibility of creating new theories...“ [48].

убрзао процес анализе неопходна је смањити број пикова који се анализира. Ово је могуће пошто велики број пикова потиче од шума, а не од физичког догађаја.

У том циљу ЕС налази и издваја све пикове од којих се формира нумерички коначан позитиван низ  $\{c_i\}$ . Издвојене пикове ЕС сортира у строго растући низ,  $c_1 \leq c_2 \dots c_{i-1} \leq c_i \dots c_N$ ,  $\forall i \in N$ , где је  $N$  укупан број пикова. Разлог је претпоставка да најинтензивнији пикови у спектру потичу од конкретног физичког догађаја, а не од шума. У супротном, искуство “каже” да је спектар неупотребљив за анализу.

Процес редукције броја пикова се састоји из више корака. Први је материјалозован кроз однос сигнал/шум (the span, big-to-small distance),  $D(k)$ , који представља однос коначних парцијалних сума. У општем случају парцијална сума  $n$  тог реда се дефинише као  $S_n = \sum_{i=1}^n c_i$ ,  $n < N$ . У нашем конкретном случају ради се о парцијалним сумама образованим од тачно дефинисаног броја пикова, на пример десет највећих и десет најмањих, у спектру који се анализира:

$$D(k) = \frac{\sum_{i=N-k+1}^N c_i}{\sum_{i=1}^k c_i} \quad (1)$$

где је  $c_i$  одброј одговарајућег канала из групе највећих и најмањих респективно, док је  $k$  изабрани број канала посматраних пикова,  $k \ll N$ .  $D(k)$  је по својој природи бездимензиони параметер. Множимо га са јединичним одбројем,  $c_{ref}^0 = 1$ , како би смо могли да одредимо граничну вредност за поређење,  $c_{ref}^0 D(k)$ . Пошто у формирању парцијалних сума може да учествује различит број пикова то значи да се могу добити различите граничне вредности одброја. Само они пикови чији је интензитет,  $c_i$ , већи од одређеног прага ће бити предмет анализе, тј. који задовољавају следећи услов:  $c_i > c_{ref}^0 D(k)$ .

Више је фактора који могу да утичу на вредност  $D(k)$ . Првенствено број пикова у суми, али и вредност референтног одброја који треба да узме у обзир конкретне услове снимања спектра.

Прво ће бити анализиран утицај дужине суме на граничну вредност одброја. Однос сума у изразу за  $D(k)$  може да буде написана у форми односа средњих вредности:

$$D(k) = \frac{\frac{\sum_{i=N-k+1}^N c_i}{k}}{\frac{\sum_{i=1}^k c_i}{k}} \quad (2)$$

где је  $k$  дужина суме и иста је и у имениоцу и бројиоцу. Очигледно је да са повећањем  $k$  вредност  $D(k)$  опада као последица смањења вредности бројиоца зато што се шири опсег обухваћених пикова, док је супротан случај са имениоцем.

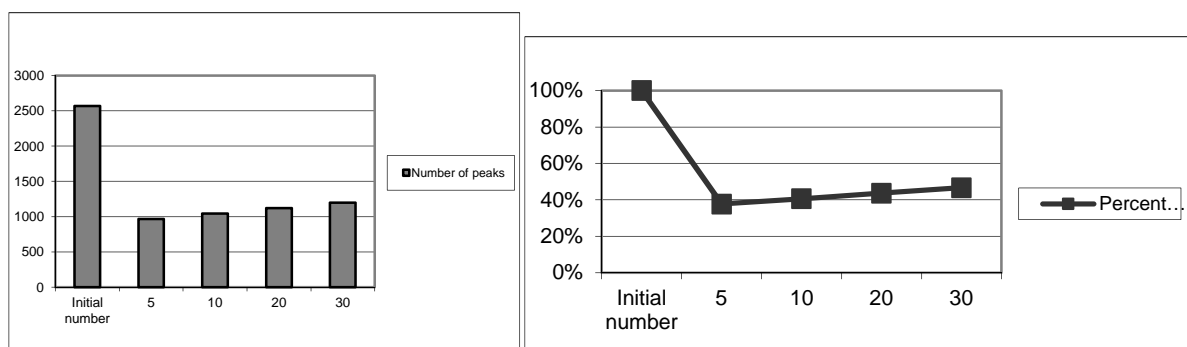
На пример, за посматрани спектар иницијални број пикова је 2568. За  $k = 10$  добија се да је  $D(10) = 20552/162 \approx 126$ . Постављањем границе на 126, преостаје 1042 пикова да се анализира, што представља смањење од 60% у односу на почетну ситуацију. За

$k = 20$ , за исте услове добија се да је  $D(20) = 39764/339 \approx 117$ . Спуштањем границе на одброј од 117 преостаје 1121 пикова, што одговара смањењу од 56%, док је за  $k = 30$ ,  $D(30) = 57328/524 \approx 109$ , односно број преосталих пикова је 1199 што одговара смањењу од 53%. Али за  $k = 5$ ,  $D(k)$  расте,  $D(5) = 10523/77 \approx 137$  и број пикова за анализу опада. Од почетног броја пикова, ЕС у овом случају треба да анализира 968 пикова, односно приближно 38%, што одговара смањењу од 62%.

	Број пикова	Број пикова за анализу у %	Смањење броја пикова за анализу у %
Почетни број	2568	100%	0%
к			
5	968	38%	62%
10	1042	41%	59%
20	1121	44%	56%
30	1199	47%	53%

Табела 3: Табела смањења пикова за анализу.

Слика 12 показује пикове за анализу за поменути спектар изражено кроз укупан број пикова и процентуално:



Слика 12: Промена броја пикова за анализу у зависности од изабраног броја пикова који се користе за процену односа,  $D(k)$  изражено преко: а) Укупног броја пикова за анализу, б) Процентуално.

Очигледно је да вредност дужине суме,  $k$ , утиче на проценат смањења пикова за анализу. Број пикова који ће бити коришћен у Једначини 1 зависи од услова које корисник поставља у току процеса анализе. Ови критеријуми су искуственог карактера и настају као резултат рада са спектрима. На пример, у спектрима радионуклида, одређена вредност  $k$  може да усмери анализу на одређену групу радионуклида која се карактерише одређеним нивоом приноса.

Поред броја коришћених пикова треба одредити и референтни одброј,  $c_{ref}^0$ , који се користи код добијања граничне вредности одброја. За базичне експерименталне претпоставке (спектри се снимају  $24^h$ ) ова вредност се поставља на један. У општем случају, време снимања спектра може да буде различито од подразумеваног времена што директно утиче на забележен принос. Узимајући у обзир кумулативни допринос

времена, у смислу односа времена снимања и приноса, дефинисана је једноставна формула:  $c_{ref} = c_{ref}^0 \frac{24}{t}$ , где је  $c_{ref}^0$  иницијално дат референтни одброј,  $c_{ref}$  је израчунат и  $t$  је време мерења. Очигледно је да је за  $t = 24h$ ,  $c_{ref} = c_{ref}^0$ .

Chanall	Count	Pik-i	Noise	Modified count	Peak-m	10	20	30
2335	1721		104	1617				
2336	1772	1	78	1694	1	1	1	1
2337	1610		109	1501				
2338	1203		84	1119				
2339	820		82	738				
2340	468		98	370				
2341	298		88	210				
2342	233		117	116				
2343	215		90	125	1		1	1
2344	174		100	74				
2345	202	1	92	110	1			1
2346	169		111	58				
2347	187		98	89				
2348	187		92	95	1			
2349	171		85	86				
2351	155		89	66				
2352	179		93	86				
2353	179		87	92				
2354	190	1	90	100				
2355	184		73	111	1			1
2356	180		87	93				
2357	178		84	94	1			
2358	165		108	57				
2359	176	1	101	75	1			
2360	164		92	72				
2361	200	1	103	97	1			
2362	171		86	85				
2363	196		79	117	1		1	1
2364	201	1	86	115				
2365	176		85	91				
2366	197	1	85	112	1			1
2367	163		112	51				
2368	189	1	94	95	1			
2369	177		101	76				
2370	187	1	85	102	1			
2371	183		100	83				
2372	188		86	102				
2373	190		84	106				
2374	200	1	88	112	1			1
2375	181		91	90				

Табела 4: Део спектра "Posta2.dbf".

Табела 4 показује део спектра "Posta2.dbf" који одговара узорку узетом на дубини од 2цм на локацији *Пошта*, Крагујевац.

У колони "Pik-i" ЕС означава све пикове из полазног спектра добијеног детектором, док су у колони "Peak-m" означени пикови из добијеног модификованог спектра. Модификован спектар се добија одузимањем вредности одброја шума од вредности снимљеног спектра на датом каналу [46], собзиром да иницијално снимљене вредности одброја представљају кумулативан допринос приноса природних радионуклида и шума.

Колоне "10", "20" и "30" су колоне у којима ЕС уписује "1" само за оне пикове чији је одброј већи од израчунатог односа сигнала/шум,  $D(k)$ , за 10, 20 и 30 највећих и најмањих пикова респективно. Броја пикова који ће се користити у процени  $D(k)$  зависи од критеријумима које корисник поставља при анализи, и може се рећи да је избор искуственог карактера. Изабрани број пикова анализу усмерава на поједине групе радионуклида које се карактеришу одређеним нивоом приноса што је у складу са претходно показаним вредностима граничних одброја где се види да ниво граничног одброја директно зависи од  $k$ .

Из Табеле 4 се види да се са порастом  $k$  повећава број пикова, али је улога  $D(k)$  у потпуности очувана пошто се она не односи само на смањење броја пикова, већ и на усмеравање анализе ка одређеној групи природних радионуклида или генерално гледано на одређени ниво приноса.

Међутим нису сви преостали пикови физичког догађаја тако да су додатни механизми за смањење шума неопходни. ЕС у процесу класификације пикова, коришћењем алгорита који се састоји од низа правила врши додатно смањење броја пикова.

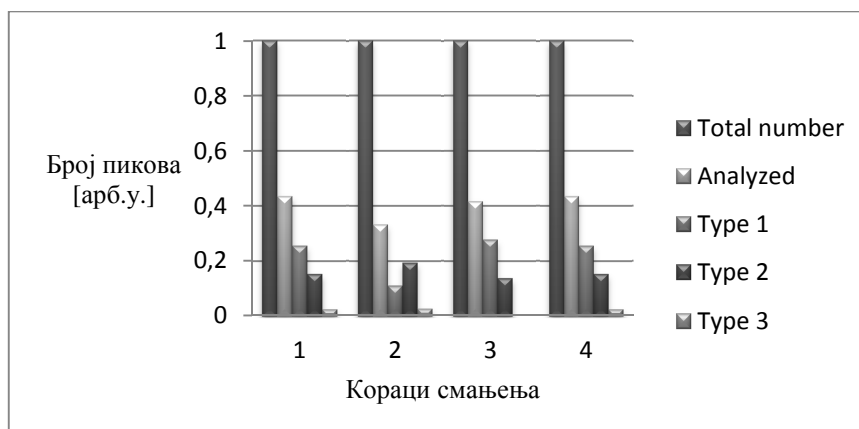
Један од кључних корака у процесу анализе ЕС је процена резолуције апаратуре која представља најмање растојање на коме се два пика (догађаја) могу посматрати одвојено. Овде ћемо само користити појам и смисао резолуције у контексту приче о смањењу броја пикова. Класификацијом се пикови смештају у једну од шест група у зависности од испуњености услова. Само пикови прве три групе су интересантни за даљу анализу пошто потичу од физичког догађаја. У циљу уопштавања поступка дефинисање услова за класификацију енергија је изостављена.

- Први претходни и први следећи дозвољени пик није евидентиран као пик физичког догађаја.
- Обадва претходно поменута пика се налазе на каналима ван оквира резолуције,  $\Delta E_{res}$ .
- Сви одброји на каналима на растојању ближе од  $\Delta E_{res}/2$  су мањи од одброја на посматраном каналу. У супротном се претпоставља да потиче од шума. За овакав пик се не може утврдити да ли потиче од физичког догађаја.

- Први претходни и први следећи дозвољени пик, гледано у односу на разматрани пик нису придружени физичком догађају, али постоји један или више канала, на растојања ближе од  $\Delta E_{res}$ , који потенцијално одговарају физичким догађајима. Ови пикови се не могу разложити при датој резолуцији.

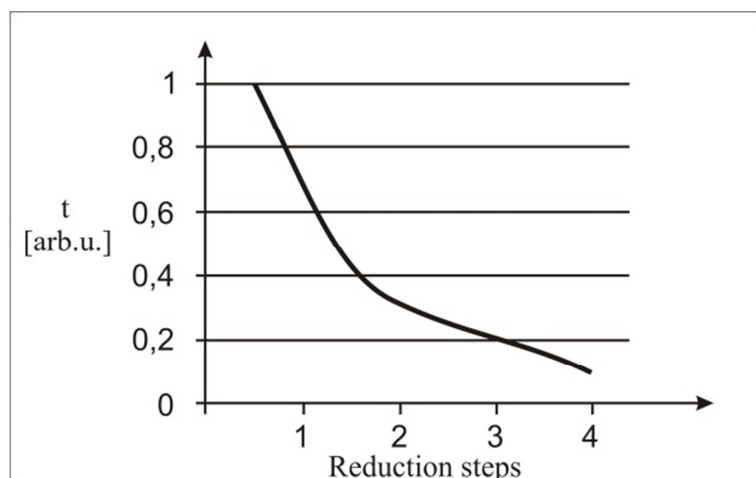
Пикови који задовољавају прва три услова су дефинисани као пикови прве групе и добијају ознаку 1. Другу групу сачињавају пикови који задовољавају први и четврти услов, и они добијају ознаку 2. Трећа група пикова се разликује од друге по томе што су на неким каналима ближе од  $\Delta E_{res}$  забележени пикови физичког догађаја, док у другој групи нису. Овим пиковима ЕС придружује ознаку 3.

Слика 13 приказује само пикове из 1, 2 и 3 групе у односу на укупан број пикова.



Слика 13: Илустрација додатног смањења броја пикова.

Време потребно за анализу спектра је такође значајан параметар. Пракса показује да примена ЕС у анализи експериментално добијених података знатно скраћује време потребно за анализу. Смањење времена је скоро експоненцијално. Слика 14 илуструје ово.



Слика 14: Илустрација скраћења времена потребног за анализу.



Свеобухватност и јасноћа у тумачењу података, као и већа прецизност у анализи експериментално добијених података су допринели подизању квалитета и квантитета прикупљених информација у односу на то када се иста врши класичним методама.

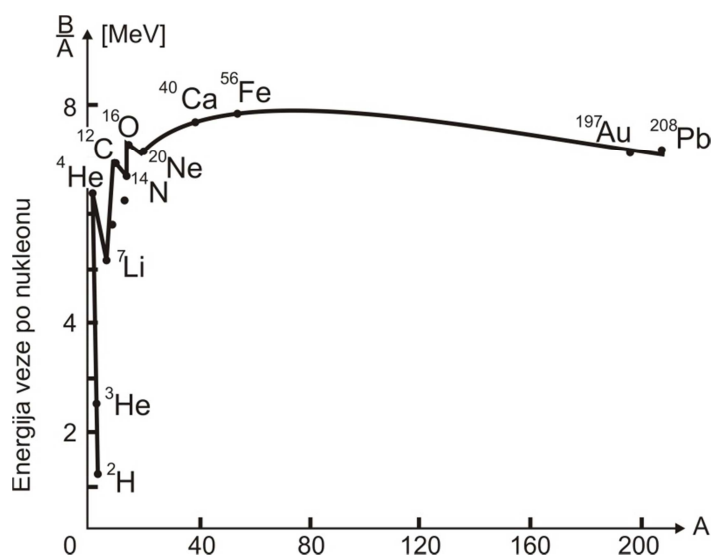
Поред убрзања процеса анализе, постоје и квалитативна унапређења анализе експерименталних података:

- Резултати анализе су представљени јасно и концизно,
- Сваки ЕС може на једноставни начин бити прилагођен и унапређен новим знањима и искуствима,
- Поред пикова који су препознати и анализирани класичном анализом, ЕС може да препозна пикове који се по свом интензитету налазе на нивоу шума.

## 5. Закон радиоактивног распада

Атомска језгра представљају примарни везани систем елементарних честица (нуклида). Састављена су од протона (позитивно наелектрисаних честица) и неутрона (неутралних, ненаелектрисаних честица) које привлачне нуклеарне силе држе на окупу. Нуклеарне силе су силе изузетно јаке, кратког су домета и не зависе од наелектрисања. Најважније карактеристике језгра су:

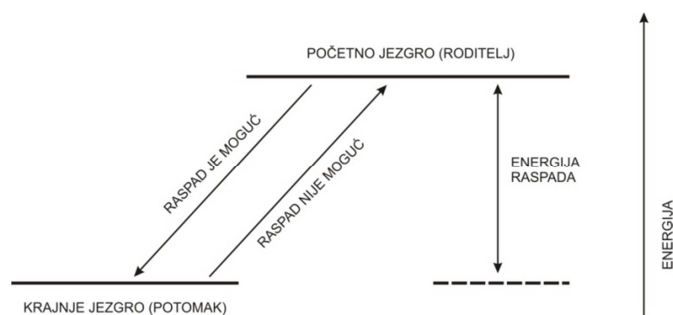
- Укупан број нуклеона у језгру – означава се словом  $A$  и назива се *масени број* језгра,
- Број протона у језгру - означава се словом  $Z$  и назива се *атомски* или *редни број*. Како је атом као систем неутралан редни број истовремено одређује и број електрона у омотачу језгра,
- Број неутрона у језгру - означава се словом  $N$  и важи да је  $N = A - Z$ . Постоје различите комбинације броја протона и неутрона у језгрима. У зависности од тога препознате су следеће групе језгара:
  - Атомска језгра са истим редним, а различитим масеним бројевима називају се изотопи (на пример, водоника има три изотопа, водоник,  ${}^1_1\text{H}$ , деутеријум,  ${}^2_1\text{H}$  и трицијум,  ${}^3_1\text{H}$ ).
  - Атомска језгра са истим масеним, а различитим редним бројевима називају се изобари (на пример  ${}^{40}_{18}\text{Ar}$  и  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ).
  - Атомска језгра са истим бројем неутрона зову изотони (на пример  ${}^{13}_7\text{C}$  и  ${}^{14}_7\text{N}$ ).
- Енергија везе по нуклеону – маса језгра би требало да буде једнака  $M(Z, N) = Zm_p + Nm_n$ , где су  $m_p$  и  $m_n$  маса протона и неутрона респективно. Међутим показало се да је маса сваког језгра мања од вредности  $M(Z, N)$  за неку одређену вредност  $\Delta M(Z, N)$ , која се назива дефект масе. Уколико се дефект масе помножи са  $c^2$  добија се укупна енергија везе језгра,  $W(Z, N)$ . Закључак је да се приликом формирања језгра од нуклеона овај износ енергије израчи из система. Супротно, уколико би требало језгро да се растави на слободне нуклеоне управо би овај износ енергије,  $W(Z, N)$ , требало да се уложи како би се савладале привлачне нуклеарне силе. Количник  $W(Z, N)/A = W(Z, N)/(Z + N)$  представља енергију везе по нуклеону. Ова енергија се обележава са  $B(Z, N)$  и представља средњу енергију која је потребна да би се један нуклеон одвојио од датог језгра. Зависност  $B(Z, N)$  од  $A$  приказана је графиком на Слици 15:



Слика 15: График зависности  $B(Z, N)$  од  $A$ .

Уколико је  $B(Z, N)$  веће, утолико ће бити потребно уложити више енергије да се језгро разбије па је самим тим стабилније. Са графика се види да је за највећи број елемената  $B(Z, N) \sim 8 \text{ MeV}$ .

- Стабилност језгра – појам стабилности језгра се односи на језгро које се налази у основном стању. Комбинације различитог броја протона и неутрона у језгру дају језгра различите стабилности. Потпуно стабилних језгара у природи има око 270, док су сва остала језгра мање или више нестабилна. Као таква подложна су некој од врсти спонтаних распада о којима ће бити речи у наставку текста. Питање стабилности језгра је веома битно а једно од кључних питања у вези са тим се односи на то како неутрон, који је као самосталан нестабилан, постаје стабилан везан у језгру? Одговор на ово питање се добија из анализе односа маса разматраног језгра као почетног стања и потенцијалног крајњег стања у коме би се језгро могло да нађе услед одређене претрпљене трансформације. Уколико је маса језгра већа од масе потенцијалног крајњег стања, такво језгро може да доживи одређену трансформацију. У супротном случају трансформација није могућа. Мисли се на спонтане трансформације. Описана разматрања се могу превести на језик енергије уколико се масе помноже са  $c^2$ . На Слици 16 је приказан енергетски график услова потребних за спонтани распад језгра.



Слика 16: Енергетски график услова потребних за спонтани распад језгра.

Са слике се види да уколико је у почетном стању енергија већа од енергије крајњег стања може доћи до спонтаног распада језгра. Ово је у складу са тежњом свих система да пређу у чвршће везано стање мање енергије. У супротном, спонтани распад није могућ. Енергија распада представља разлику у енергијама почетног и крајњег стања. Због закона одржања енергије, енергија распада је у ствари једнака енергији емитованог зрачења.

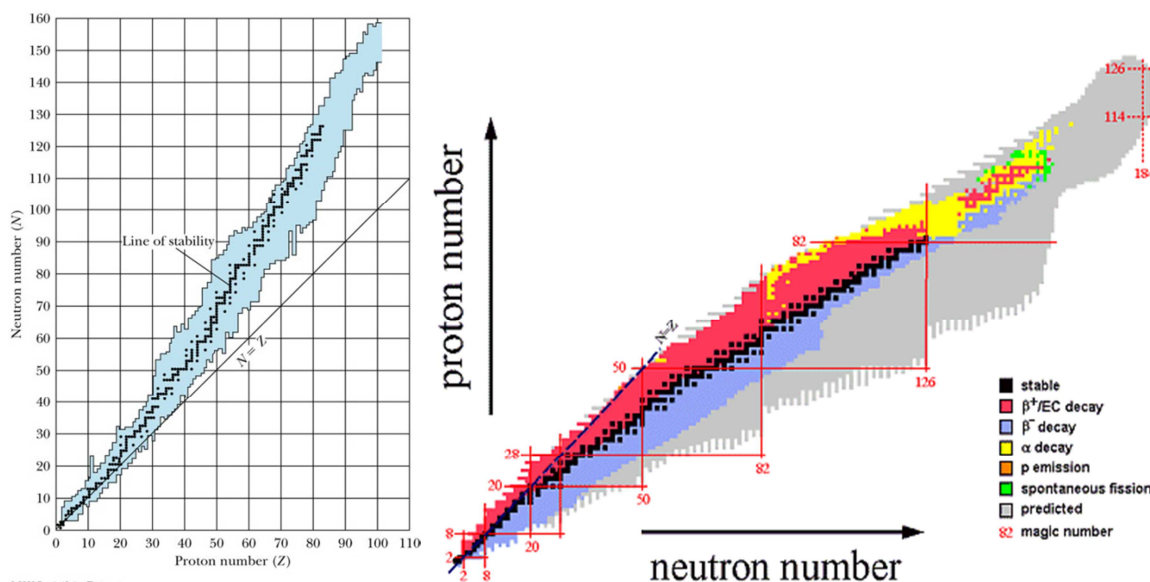
У примењеној нуклеарној физици појава нестабилности језгара назива се радиактивност, а трансформације радиоактивних изотопа се називају радиоактивни распади.

Непосредно после открића X зрака од стране Рентген-а, Бекерел је 1896. године извео експеримент са циљем да утврди да ли постоји зависност између X зрака и луминисценције соли урана. Резултат његовог експеримента је било откриће да уранова со емитује зрачење без обзира да ли је изложена Рендгенском зрачењу или не. На овај начин је откривен феномен, који је нешто касније Марија Кири назвала *радиоактивност*.

Такође, Бекерел је показао да се зрачење јавља код свих уранових једињења, да је најаче за метални уран, као и да је спонтана емисија зрачења или *радиоактивност* особина самог урановог атома у његовом нормалном стању.

После Бекереловог открића радиоактивности пронађени су и други радиоактивни елементи као што су торијум, полонијум, радијум и актинијум. Данас је познат велики број радиоактивних елемената, од којих се део јавља у природи, док други део настаје као последица одређених људских активности.

Радиоактивност која се јавља код одређених елемената, односно њихових атомских језгара, је последица нестабилности тих језгара. Атомска језгра се састоје из неутрона и протона. Однос броја протона и неутрона у датом језгру директно утиче на његову стабилност, тако да различите комбинације ових градивних елемената дају језгра са различитим степеном стабилности. Уколико у језгру има премало или превише неутрона у односу на стабилну конфигурацију, језгро је нестабилно и оно се спонтано распада. На пример језгро  $^{16}\text{N}$  које има 7 протона и 9 неутрона неколико секунди после свог настанка прелази бета распадом у  $^{16}\text{O}$  који има по 8 протона и неутрона. На Слици 17 а) је приказана линија стабилности у зависности од броја неутрона и протона, док су на слици под б) обележени распади који су карактеристични за одређени однос N/P.



Слика<sup>23</sup> 17: а) Линија стабилности у зависности од броја неутрона и протона, б) Распади карактеристични за одређени однос N/P.

Под радиоактивним распадом се подразумева процес спонтаног преласка нестабилног језгра у друго уз емисију једне или више честица:



где је  ${}_{Z_1}^{A_1}X$  родитељ,  ${}_{Z_2}^{A_2}Y$  потомак, X емитована честица и  $\Delta\varepsilon$  ослобођена енергија.

Нестабилна језгра се карактеришу следећим величинама:

- Временом полураспада  $T_{1/2}$  (време полураспада је време за које број атома неког радиоактивног материјала опадне на половину). Распон могућих вредности је веома широк,  $10^{-10}\text{s} < T_{1/2} < 10^{15}$  година,
- Односима гранања, тј. вероватноћама за одвијање распада на дати начин, ако их има више,
- Врстама зрачења емитованих при распаду,
- Енергијама емитованих честица,
- Релативним интензитетима емитованих зрачења, тј. вероватноћама за емисију зрачења дате енергије, уколико их има више.
- Спектром побуђених стања језгра. Побуђена стања постоје и код стабилних, и код нестабилних језгара. Енергетске разлике између побуђених стања се крећу од енергија реда KeV до неколико MeV. Језгро се у неком од својих побуђених стања може да нађе после неког од распада ( $\alpha, \beta$  на пример). Када се нађе у побуђеном стању, језгро се у основно стање враћа емисијом  $\gamma$  зрачења. На тај начин се образује спектар побуђених стања датог језгра.

<sup>23</sup> Преузето са са [www.pmf.unsa.ba/.../3-Radioaktivni%20raspad%](http://www.pmf.unsa.ba/.../3-Radioaktivni%20raspad%).

Нестабилност појединих језгара доводи до њихове трансформације, што за последицу има промену њиховог броја у одређеном узорку. Свако језгро има одређену вероватноћу распада у јединици времена на коју никакви спољашњи услови (изузетак су веома велики притисци) не могу да утичу. Ово практично значи да је број распада пропорционалан броју атома, што се може записати као:

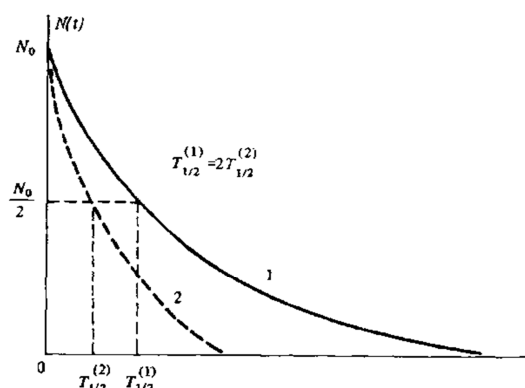
$$\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N, \quad (4)$$

где је  $N$  број језгара који се распада у тренутку  $t$ . Интеграљењем леве и десне стране једнакости добија се математички запис закона радиоактивног распада у форми:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (5)$$

где је  $N(t)$  број нераспаднутих језгара после датог времена  $t$ , а  $N_0$  је почетни број језгара. Законом радиоактивног распада се квантитативно изражава кинетика радиоактивног распада, односно показује колики ће број атома почетног радиоизотопа остати нераспаднут у извору по истеку времена  $t$  од почетка посматрања. Процес је независан од физичког и хемијског стања изотопа.

Зависност је експоненцијална, односно број језгара опада по експоненцијалном закону, што се графички може приказати као на Слици 18.



Слика 18: Графички приказ закона радиоактивног распада.

Величина  $\lambda$  која фигурише у наведеном изразу је тзв. *константа радиоактивног распада*, која се често користи уместо времена полураспада. Дефинисана је као количник природног логаритма броја два и времена полураспада:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,69}{T_{1/2}} \quad (6)$$

Константа распада је вероватноћа распада датог типа језгра језгра у јединици времена и бројно је једнака делу атома који се распадају по јединици времена. Има димензију  $[s^{-1}]$ .

Постоје следеће врсте спонтаних трансформација језгара:

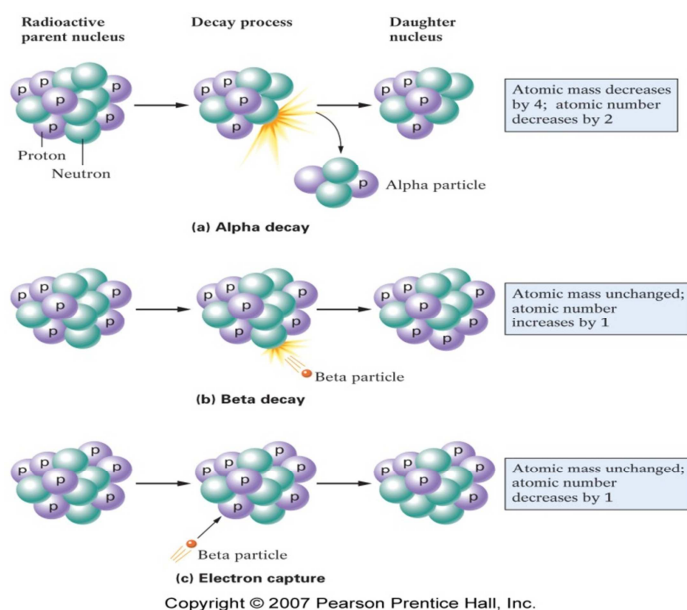
- Алфа распад – емисија језгра хелијума,  ${}^4\text{He}^{2+}$ ,
- Бета распад – емисија  $e^+$  или  $e^-$ ,
- Спонтана фисија

Ове трансформације су праћене емисијом одређених честица. Поред њих постоји и:

- Гама распад,

који је праћен емисија фотона високе енергије. При овом распаду језгро трпи само енергетску трансформацију, па ово није распад у правом смислу те речи.

Поред ових постоје и други типова распада, али су знатно ређи. На пример, детектовани су распад уз емисију неутрона или протона код језгара са великим ВИШКОМ ИСТИХ.



Слика 19: Илустрација<sup>24</sup> распада.

## 5.1. Бета распад

Бета распад је најчешћи тип распада. Јавља се код језгара у којима се однос броја протона и неутрона разликује од односа који обезбеђује стабилност. Практично, у бета распаду долази до трансформације неутрона у протон или обрнуто, чиме се добија ново језгро. Према смеру ове промене и начину на који се она врши, разликују се три типа бета распада:

- Бета-минус ( $\beta^-$ ) распад,
- Бета-плус ( $\beta^+$ ) распад,
- Електронски захват (ЕЗ).

<sup>24</sup> Преузето са [www.pmf.unsa.ba/.../3-Radioaktivni%20raspad%](http://www.pmf.unsa.ba/.../3-Radioaktivni%20raspad%20).

### 5.1.1. $\beta^-$ распад

Бета минус,  $\beta^-$ , распадима су подложна језгра која имају вишак неутрона у односу на број неутрона стабилног члана изобарског низа.

Код  $\beta^-$  распада један од неутрона преживљава распад који је еквивалентан распаду слободног неутрона. Неутрон се трансформише у протон, који остаје у језгру, а из језгра се емитује електрон (тзв. *бета зрак*) и антинеутрино. Ово може да се запише као:



при чему су коришћене следеће ознаке:  $n$  – неутрон,  $p$  – протон,  $\beta^-$  – бета честица (електрон) и  $\bar{\nu}_e$  – антинеутрино електронски.

Како се број протона у језгру повећао за један, редни број изотопа расте што има за последицу да се елемент помера за једно место удесно у периодном систему елемената. На примеру елемента  $X$  који је одређен редним бројем  $Z$  и масеним бројем  $A$  наведена трансформација може се представити релацијом:



односно на конкретном примеру распада трицијума:



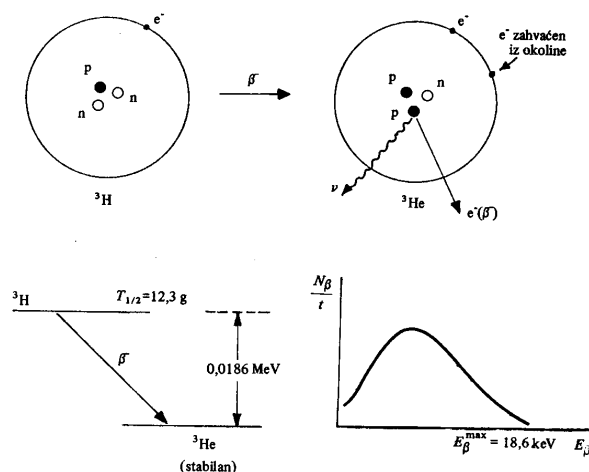
Енергију распада, која је једнака разлици енергија почетног и крајњег стања, међусобом деле електрон, узмакнуто језгро и неутрино. Енергија узмака је релативно мала и може се занемарити. Расподела енергије између наведених честица се не врши увек на исти начин тако да је енергија електрона другачија у зависности од дела који однесе антинеутрино. Ово је разлог што је спектар  $\beta^-$  зрачења је континулан. У њему су заступљене све енергије, почев од нулте па до неке максималне. За сваки поједини  $\beta^-$  радиоактивни изотоп карактеристична је *максимална енергија датог бета спектра*,  $E_{\text{max}}$ , која одговара случају када електрон односи сву енергију. Нултој енергији  $\beta^-$  честице одговара случај када антинеутрино односи сву енергију и ови случајеви су ретки. Највероватнији су распад у којима електрон односи око 1/3 максималне енергије, а антинеутрино остатак.

Ако  $\beta^-$  распад води на основно стање новог језгра, каже се да имамо чист  $\beta^-$  распад. Чешћи је случај да  $\beta^-$  распад не води на основно стање или не *само* на њега, већ и на извесна побуђена стања новог језгра. Тада долази до емисије фотона гама зрачења, која обично тако брзо следи емисију  $\beta^-$  честице (мање од  $10^{-9}\text{s}$ ) да су ове две емисије истовремене (коинцидентне). Могућ је и случај распада на стање са кога су прелази на ниже лежећа стања забрањени; такво стање може да живи знатно дуже и назива се метастабилно, и изазива нуклеарну изомерију.



Времена полураспада  $\beta^-$  активних језгара крећу се у веома широким границама, од делова секунде до милијарде година. Максималне енергије  $\beta^-$  спектра не прелазе 5 MeV. Вештачки  $\beta^-$  радиоактивни изотопи се добијају претежно излагањем стабилних изотопа датог елемента флуксу спорих неутрона у нуклеарним реакторима. Том приликом се одвијају нуклеарне реакције захвата неутрона и као њихов производ добијају се бета-минус активни изотопи почетног елемента.

На Слици 20 је приказана трансформација коју језгро трпи у  $\beta^-$  распаду, затим одговарајућа шема распада, као и спектар  $\beta^-$  зрачења који одатле произилази (пример језгра трицијума  ${}^3\text{H}$ ).



Слика 20: Бета распад трицијума ( ${}^3\text{H}$ ). Горе, шематски приказ. Доле лево, енергетски дијаграм распада и доле десно, спектар емитованих електрона.

### 5.1.2. $\beta^+$ распад

У језгрима која су подложна овој врсти распада један од протона прелази у неутрон, који остаје везан у језгру; настали позитрон и неутрино напуштају језгро. Редни број језгра се при томе смањује и елемент се помера за једно место улево у периодном систему.

$\beta^+$  распад за елемент X, датог масеног и атомског броја дат је релацијом:



односно на конкретном примеру изотопа  ${}^{11}\text{C}$ :



Из наведених примера може се закључити да у језгру које претрпи  $\beta^+$  распад долази до следеће промене:

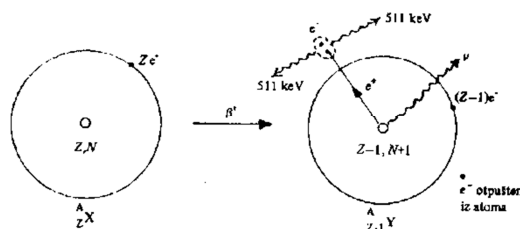
$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu_e \quad (12)$$

где су коришћене следеће ознаке:  $n$  – неутрон,  $p$  – протон,  $\beta^+$  - бета честица, тј. позитрон и  $\nu_e$  – електронски неутрино.

Пролазећи кроз материју емитовани позитрони се прво успоравају до ниских енергија и онда се сусрећу са слободним електронима и нестају у процесу анихилације. Зато су извори позитронског зрачења увек и извори анихилационог зрачења. Обично се емитују два гама кванта од по 511 KeV. Вишефотонска анихилација је могућа али је ретка.

Изотопи подложни позитронском распаду јесу они који поседују мањак неутрона у односу на стабилне изотопе истог изобарног ланца. Постоји изванредан број  $\beta^+$  природно радиоактивних изотопа. Међутим, велики број  $\beta^+$  емитера се добија излагањем стабилних изотопа струјама убрзаних честица, најчешће протона, у акцелераторима честица (циклотронима).

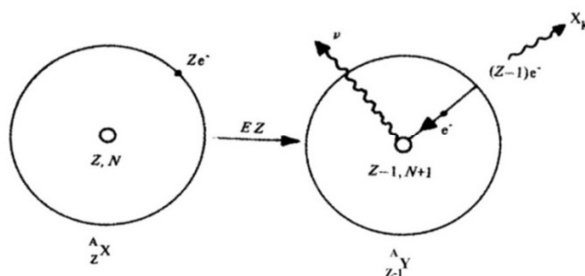
И овде је због неутрина спектар континуалан. На Слици 21 је шематски приказан редослед догађаја при једном акту позитронског распада.



Слика 21: Редослед догађаја при позитронском распаду.

### 5.1.3. Електронски захват

У електронском захвату један од атомских електрона (најчешће из  $K$ -љуске) бива захваћен од стране једног протона из језгра. Протон се при том трансформише у неутрон, а из језгра се емитује само неутрино (тачно дефинисане енергије). Упражњено електронско место у  $K$ -љусци попуњава неки од електрона са виших стања те је фотон  $X_K$  зрачења који се емитује из атома најчешће опсервабилно зрачење које прати овакав распад језгра. Редослед стања при оваквом распаду шематски је приказан на Слици 22.



Слика 22: Редослед догађаја при електронском захвату.

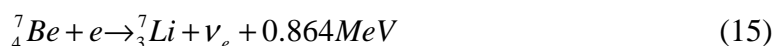
Као што се види, електронски захват је тип бета распада при којем је крајња промена језгра иста као код  $\beta^+$  распада, само што је механизам другачији. Математички запис описаног процеса дат је следећом релацијом:



где је  $e^-$  ознака за електрон. На примеру елемента који се карактерише одређеним редним и масеним бројем, ово може да се напише као:



На пример, распад берилијума,  ${}^7\text{Be}$ , се одиграва на следећи начин:



## 5.2 Алфа распад

Алфа распад је процес у коме се врши избацивање тзв. алфа честице,  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  из радиоактивног језгра, где се алфа честица састоји од два протона и два неутрона, који представљају чврсто везани систем са енергијом везе од око 28 MeV. Алфа честице су језгро хемијског елемента  $\text{He}$ . Обележавају се са  $\alpha$  и позитивно су наелектрисане. Шема овог распада је дата релацијом:



Приликом алфа распада долази до трансформације језгра која има за последицу формирање новог елемента чији је редни број смањен за два, а масени за четири. На овај начин долази до помака који у односу на претка новонастали елемент помера за два места улево у Периодном систему.

Механизам алфа распад биће илустрован на примеру радона  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ :



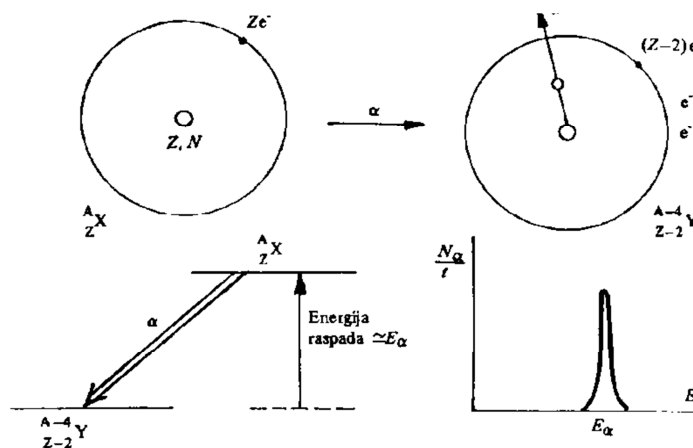
Период полураспада  $T_{1/2} = 1600$  година.

Многа тешка језгра са редним бројем  $Z \geq 84$ , прелазе у стање ниже енергије емисијом  $\alpha$ -честица. Највећи део енергије распада односи емитована  $\alpha$ -честица, а мањи део односи језгро које доживи узмак, тако да је енергија  $\alpha$ -зрачења приближно једнака енергији распада. Алфа зрачење датог распада има прецизно дефинисану енергију, односно линијски спектар зрачења.

Дуго се веровало да све  $\alpha$ -честице имају једнаке енергије. Међутим Розенблум је 1929. године да се  $\alpha$  зрачење може имати различите енергије, тако да је за сваки алфа - радиоактивни изотоп тачно одређена енергија алфа честице. Ово има за последицу да је

њихов спектар дискретан, односно линијски. Енергије  $\alpha$ -зрачења код свих емитера леже у опсегу од 4 до 10 MeV.

Теорија  $\alpha$  распада заснива се на квантно механичком феномену тунел ефекта, тј. проласка  $\alpha$  честице кроз потенцијалну баријеру језгра. Слика 23 даје шематски приказ алфа распада.



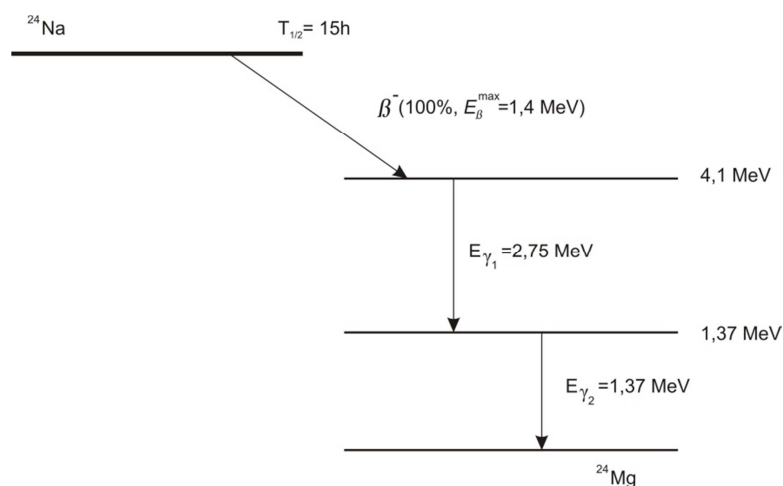
Слика 23: Горе, шематски приказ процеса алфа распада. Доле десно, енергетски дијаграм прелаза и доле лево, спектар емитованих алфа честица.

Такође треба напоменути да су поједини изотопи  $\alpha$  и  $\beta$  радиоактивни, (нпр.  $^{214}\text{Bi}$ ) што значи да изврстан део језгара доживљава  $\alpha$  распад, а преостали део се распада преко  $\beta$  распада.

### 5.3. Гама распад

Гама распад прати  $\alpha$  и  $\beta$  распад. После  $\alpha$  или  $\beta$  распада, остатак језгра (тзв. језгро потомак) може да остане у неком од побуђених стања, што је и најчешћи случај. Побуђено језгро потомак се из оваквог стања деексцитира емисијом  $\gamma$ -фотона одговарајућих енергија (гама распад), прелазећи при томе у основно стање. Могућ је већи број прелаза који се одвијају каскадно.

На Слици 24 је приказана шема распада  $\text{Na}^{24}$ :


 Слика 24: Шема распада  $\text{Na}^{24}$ .

Математички  $\gamma$  распад се може представити следећом једначином:



где је са  $X^*$  означено побуђено језгро. Као што се из једначине 16 види овим распадом се не формира ново језгро, већ се постојеће из побуђеног враћа у непобуђено стање емисијом  $\gamma$  зрачења. Из овог разлога се  $\gamma$  распад не сматра радиоактивним распадом у ужем смислу.

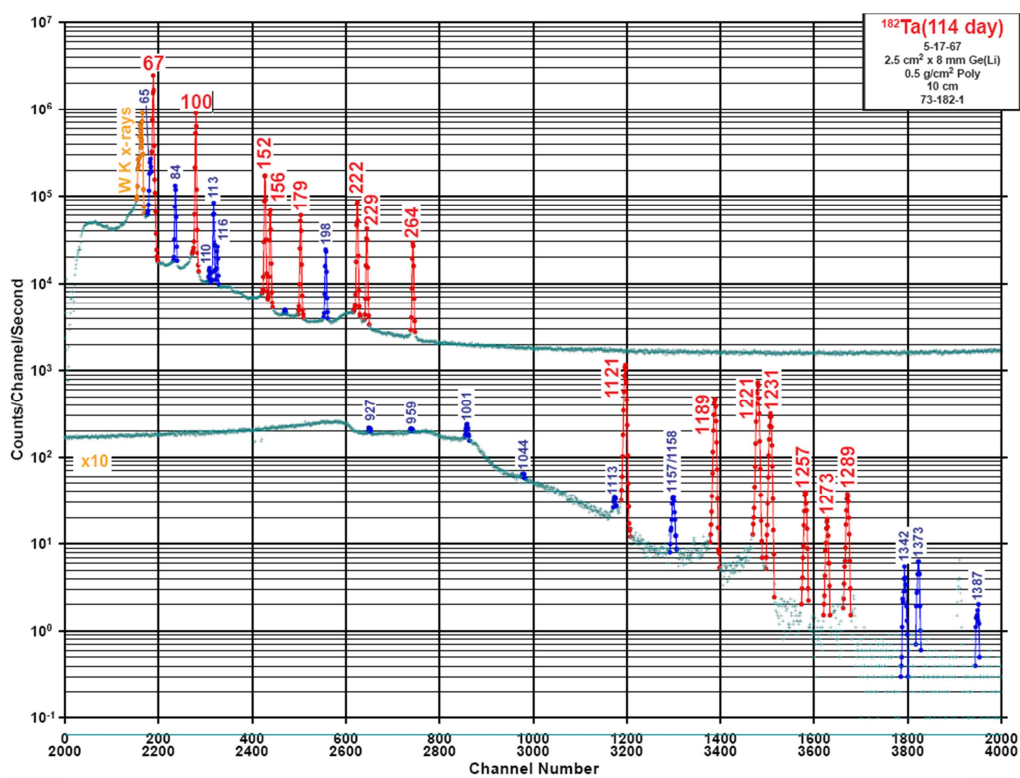
Гама спектар је дискретан, линијски и карактеристичан је за сваки изотоп, при чему сваком могућем прелазу одговара тачно одређена енергија фотона. Линије тј. пикови који одговарају појединим прелазима у гама спектру имају различите интензитете. Разлог је различита вероватноћа гама распада.

Гама распад је знатно бржи од алфа и бета распада. Полуживоти се обично крећу између  $10^{-6}$  и  $10^{-13}$  s. Ово је толико мало да се често може сматрати да су бета честице и фотон који следи емитовани истовремено тј. да су коинцидентни. На овоме се заснива техника коинцидентних мерења, која се често користи у нуклеарној физици.

Међутим у неким случајевима време полуживота може да буде веома дуго, реда година. Ово се дешава у случају када су разлике између спинова почетног и крајњег стања веће а енергија прелаза мања. Овакви прелази се називају изомерним.

Постоји велики број извора гама зрачења. Избор извора за одређену примену се врши на основу тога који по енергији, интензитету и цени највише одговара.

На Слици 25 је дат карактеристичан гама спектар изотопа тантала,  ${}^{182}\text{Ta}$ .



Слика 25: Гама спектар  $^{182}\text{Ta}$  [49]

## 5.4 Фисија

Фисија је карактеристичан процес за најтежа језгра и узрокована је њиховом динамичком нестабилношћу. Настаје као последица захвата неутрона од стране неких језгара. Апсорпцијом термалних неутрона, фисија се може изазвати код  $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ . Захват неутрона изазива осциловање језгра, које доводи до његовог цепања. Да би се овај процес изазвао код неких других језгара потребна је већа активациона енергија. На пример, за  $^{238}\text{U}$  потребан је неутрон енергије веће од  $1\text{ MeV}$ , што има за последицу да су ефикасни пресеци за фисију у тим случајевима знатно мањи<sup>25</sup>.

Такође, треба нагласити да захват неутрона не доводи увек до фисије. На пример, у случају  $^{235}\text{U}$  само 85% језгара се цепа након апсорпције термалних неутрона.  $^{235}\text{U}$  је један од три изотопа урана, док је природни уран смеша три изотопа:  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$ .

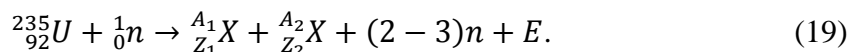
Разлоге што су поједина језгра подложнија процесу фисије треба тражити и у чињеници да су језгра која имају непаран број неутрона (парно непарна језгра) мање

<sup>25</sup> Ефикасни пресеци за фисију, која настаје захватом термалних неутрона, су код  $^{235}\text{U}$  и  $^{233}\text{U}$  су 580 и 525 barn-а, док је код  $^{238}\text{U}$  0.29 barn-а.

стабилна од језгара са парним бројем неутрона. Ово је повезано са чињеницом да је енергија везе по нуклеону код парно – парних језгара већа.

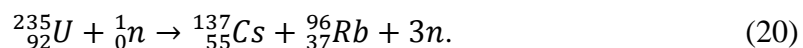
У реакцији фисије долази до цепања језгра на два, ретко три лакша језгра, фисиона фрагмента, што је праћено ослобађањем 2-3 неутрона, као и велике количине енергије.

Једно језгро може да се распадне на више начина, тако да за  $^{235}\text{U}$  постоји више од 40 шема распада што се шематски може приказати општом релацијом:



Језгро  $^{235}\text{U}$  захвата неутрон и распада се на два фрагмента уз ослобађање неутрона и енергије. Средњи број неутрона произведен у фисији  $^{235}\text{U}$  је 2.5. Да би ланчана реакција била могућа услов је да је средњи број ослобођених неутрона већи од 1, што је у овом конкретном случају задовољено. Око 99,36% фисионих неутрона се емитује тренутно (у око  $10^{-14}$  s) након фисије од стране фисионих продуката, док се остали закаснили емитују касније (до 1 мин или више). Сви фисиони фрагменти су  $\beta^-$  радиоактивни и многи се распадају кроз неколико корака до стабилних потомака.

Једна од шема распада је и она која доводи до формирања радиоактивног изотопа цезијума  $^{137}\text{Cs}$ :



Поред радиоактивног изотопа цезијума  $^{137}\text{Cs}$  добија се и рубидијум  $^{96}\text{Rb}$ .

Због чињенице да се приликом фисије ослобађања огромна количина енергије<sup>26</sup>, фисија је нашла примену у различитим аспектима људских активности, где овде поменићемо само оне хумане, као што је на пример добијање електричне енергије. На жалост, управо су такве нуклеарна електране биле једне од већих извора радиоактивности у не тако давној прошлости.

## 5.5. Радионуклиди

Откриће изотопа је нераскидиво везано са открићем и проучавањем радиоактивности, као и са развојем Периодног система елемената. Име датира са почетка XX века када су описани као елементи различити по својим радиоактивним својствима али хемијски неодвојиви, и да их треба сместити на исто место Периодног система елемената [50].

---

<sup>26</sup> По једном акту фисије ослободи се енергија реда 200 MeV.

Нестабилни изотопи се различитим процесима распадају<sup>27</sup>. Зову се радиоактивни изотопи или скраћено радионуклиди. Налазе се свуда, у ваздуху, води, земљишту, грађевинском материјалу. Практично не постоји место на Земљи где их нема. Могу се поделити на:

- Примордијалне (првобитни) који датирају од пре настанка Земље,
- Космогене који су настали као резултат интракције материјала са космичким зрачењем,
- Вештачке који су настали и настају као резултат људског деловања.

Последице глобалног атмосферског загађивања радионуклидима као последица нуклеарних проба и нуклеарних катастрофа (Чернобил, Фокушима), као и могуће опасности због њихове широке примене у свакодневном животу, као последице природног процеса миграције и редистрибуције елемената у екосистемима декларише вештачке радионуклиде као једну од најтоксичнијих ствари која је настала као производ људске активности.

Већина радионуклида који постоје на Земљи се могу груписати у три природна радиоактивна низа. Осим ова три, у лабораторијским условима, је путем нуклеарних реакција створен и четврти, нептунијумски низ.

## 5.6. Радиоактивни низови

Данас је познато око 1500 изотопа (почевши од водоника ( $Z=1$ ) закључно са ураном ( $Z=92$ )), док је на пример 1921. године било познато свега 243 изотопа. Од овог броја њих 271 су стабилни. Такође треба нагласити да елементи са редним бројем  $Z > 83$  уопште немају стабилне изотопе.

Већина природних радионуклида се могу груписати у три радиоактивна низа (фамилије). То су уранијум-радијумски, уранијум-актинијумски и торијумски низ.

- Уранијум-радијумски или краће уранов низ почиње изотопом  ${}^{238}_{92}\text{U}$  а завршава се стабилним  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ .
- Торијумов низ почиње са  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  а завршава се са  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ .
- Уранијум-актинијумски или краће актинијумов низ почиње са  ${}^{235}_{92}\text{U}$  а завршава се са стабилним  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ .

Низови добијају име по изотопу који стоји на врху и који се назива родоначелник низа (родитељ). Његовим распадом настају сукцесивно, један по један, сви остали чланови

---

<sup>27</sup> Радиоактивни распад је процес путем кога нестабилна језгра прелазе у стабилна или стабилнија и при томе емитују честице или електромагнетно зрачење.



низа који се називају потомци. Сви родоначелници су дугоживећи изотопи са временом полураспада реда величине старости Земље.

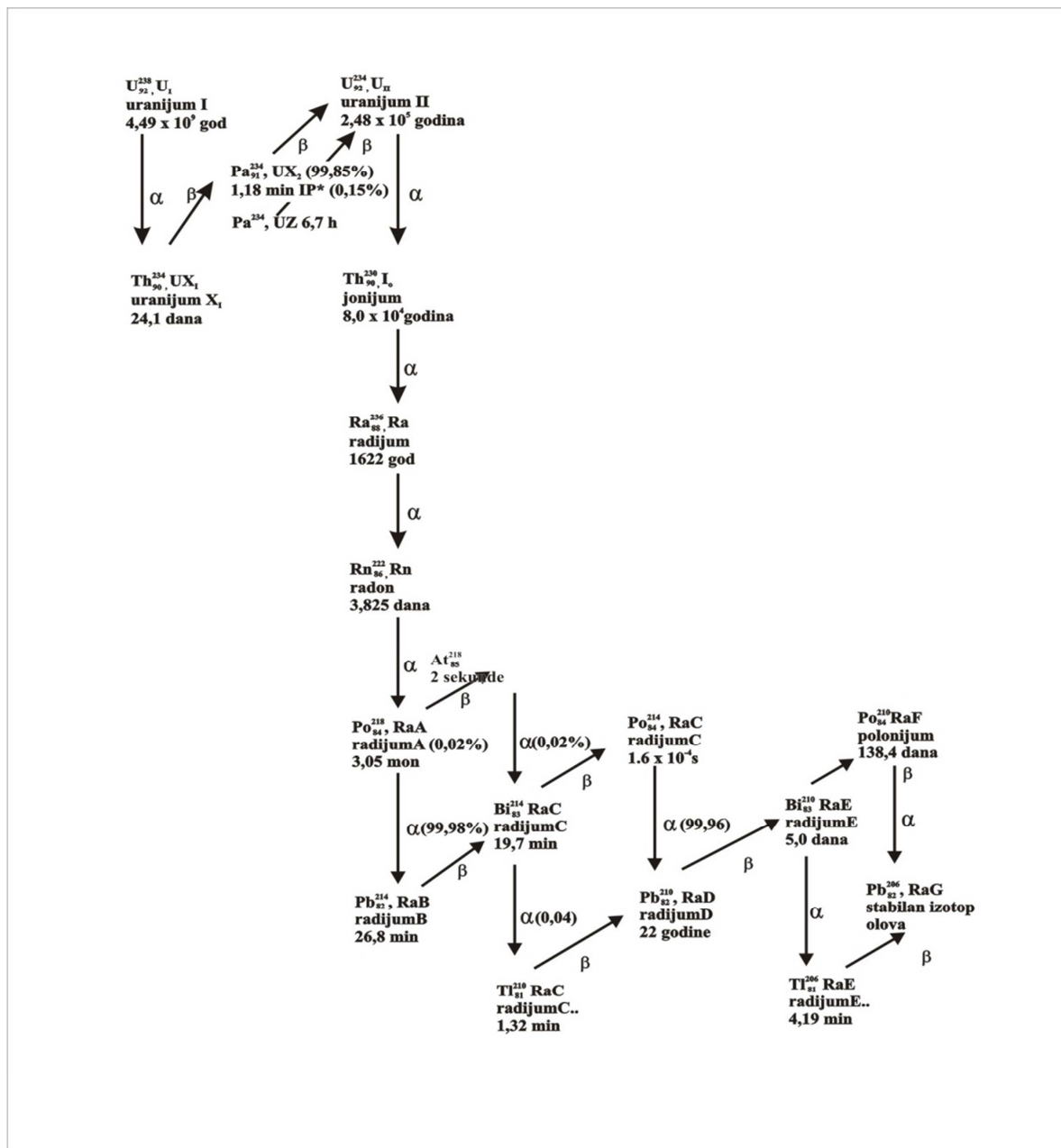
Као илустрација, на Слици 26, је дата шема урановог низа, са временима полураспада и врстама распада.

Низ почиње  ${}^{238}_{92}\text{U}$  и након 14 трансформација, 8  $\alpha$ -распада и 6  $\beta$ -распада, долази до стабилног крајњег потомка  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  када се ланац распада прекида. На овом “путу” пролази кроз низ изотопа елемената са све мањом вредношћу  $Z$ . За сваки низ је карактеристична појава гранања као последица могућности да дати потомак настане помоћу два канала распада са одређеном вероватноћом.

Поред наведених низова, у природи се налазе и трагови елемената који припадају четвртом, нептунијумовом, низу. Овај низ је добијен вештачким путем, име је добио по најдуже живећем члану  ${}^{237}\text{Np}$ , чије је време полураспада реда  $10^6$  година, а завршава се стабилним изотопом бизмута,  ${}^{209}\text{Bi}$ .

Уобичајено је да се радионуклиди којима започињу радиоактивни низови у природи називају примарни природни радионуклиди. Њихово порекло сесе у саме почетке рађања наше Галаксије, или бар Сунчевог система. Остали су у природи и до данашњих дана јер им је време полураспада довољно дуго да може да се пореди са временима живота наведених космичких објеката. Међутим ово није био случај са четвртим низом који није преживео довољно дуго. Међутим, захваљујући напорима научника, који су створили почетни члан низа, могао је бити изучаван. Са друге стране чињеница да се у природи могу наћи трагови овог низа, без обзира на релативно кратко време полураспада говори да у природи долази до ставарања, одређеним нуклеарним реакцијама, елемената овог низа.

Чланови радиоактивних низова који настају радиоактивним распадом примарних природних радионуклида се зову секундарни природни радиоактивни елементи.



Слика 26: Уранов низ.

## 6. Експертни систем за анализу спектра природних радио-нуклида

Феномен радиоактивности је везан за појаву различитих врста зрачења која су уско повезана са радиоактивним распадима којима су подложни одређени елементи тј. њихови изотопи. У претходном тексту су описани радиоактивни распади, а овде ће укратко бити речи о карактеристикама ослобођеног зрачења,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Домет  $\alpha$  зрака је 2 - 8 центиметра у ваздуху, односно неколико микрометара у ткиву. Продорност им је мала. Зауоставља их лист папира или кожа. Међутим, ово зрачење је веома опасно јер јонизује средину кроз коју пролази. Услед јонизације долази до оштећења молекула ткива живих бића, на начин што високо реактивни јони и електрони ступају у хемијске реакције и граде слободне радикале. Слободни радикали реагују међусобно или са другим молекулима услед чега настају биолошке промене у виталним деловима ћелије. Ове промене уништавају ћелију или је мењају на начин који доводи до настанка тумора или генетских промена. Са друге стране  $\beta$  зрачење иако има велику брзину (реда брзини светлости), нема велики домет због мале масе. Продорност, као и јонизујућа моћ им је веома мала (око 1000 пута мања него код  $\alpha$  зрачења). И на крају, за  $\gamma$  зрачење је карактеристично то да се креће брзином светлости, има највећи домет, зауоставља га оловни блок и има малу јонизациону способност.

На Земљи постоји 1500 изотопа који потичу од 90 хемијских елемената. Највећи број изотопа је стабилан, тачније њих 270, с тим што елементи почевши од бизмута (Bi, Z=83) закључно са уранијумом (U, Z=92) уопште немају стабилних изотопа. Од укупног броја нестабилних изотопа, њих 45 су чланови три позната природна радиоактивна низа. Преосталих 15 су изотопи лакших елемената, од којих је најпознатији  $^{40}\text{K}$ .

Иако о томе не размишљамо, са зрачењем се живи сваки дан. Свако од нас. Зрачење је одувек присутно на Земљи. Настало је још у „Великом праску“ и задржало се у природи до данашњих дана. У нормалним околностима дејство природних извора радијације је много значајније од дејства вештачког зрачења. Нека новија истраживања показују да у нормалним условима преко 70% укупне годишње дозе коју прима становништво потиче управо од природних извора јонизујућих зрачења од чега је чак 40% условљено удисањем природног радиоактивног гаса, радона  $^{222}\text{Rn}$ , односно његових потомака. Велики допринос дози дају и примордијални радионуклиди (15%) и космичко зрачење (13%). На ово се не може утицати. Међутим поред наведених природних извора јонизујућег зрачења од 60-тих година прошлог века значајан проблем представљају произведени (вештачки) извори јонизујућег зрачења, односно јавља се радиоактивност која настаје као последица људских активности, било

директно било индиректно. Према подацима UNSCEAR<sup>28</sup>-а из 1982. године услед пробних нуклеарних експлозија у стратосферу је испуштено  $9,6 \times 10^{17}$  Вq што је довело до контаминације биосфере радионуклидима као што су цезијум  $^{137}\text{Cs}$  и стронцијум  $^{90}\text{Sr}$ . Нови проблем је настао 1986. године када је као последица хаварије нуклеарне електране у Чернобилу у атмосферу испуштено додатних  $3,8 \times 10^{16}$  Вq  $^{137}\text{Cs}$ , од чега је 10% доспело на територију бивше Југославије. Најновије хаварије нуклеарне електране у Фукусими у Јапану у марту 2011. године услед јаког земљотреса и цунамија и непредвиђеног отказивања резервног система хлађења је довела до испуштања значајне количине вештачких радионуклида цезијума  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и јода  $^{131}\text{I}$  у атмосферу што је имало последице у глобалним размерама, јер се за неколико недеља облак са радиоактивним честицама раширио услед атмосферских струјања по читавој северној хемисфери. Повишене концентрације  $^{131}\text{I}$  су измерене у неким деловима Србије у том периоду [51].

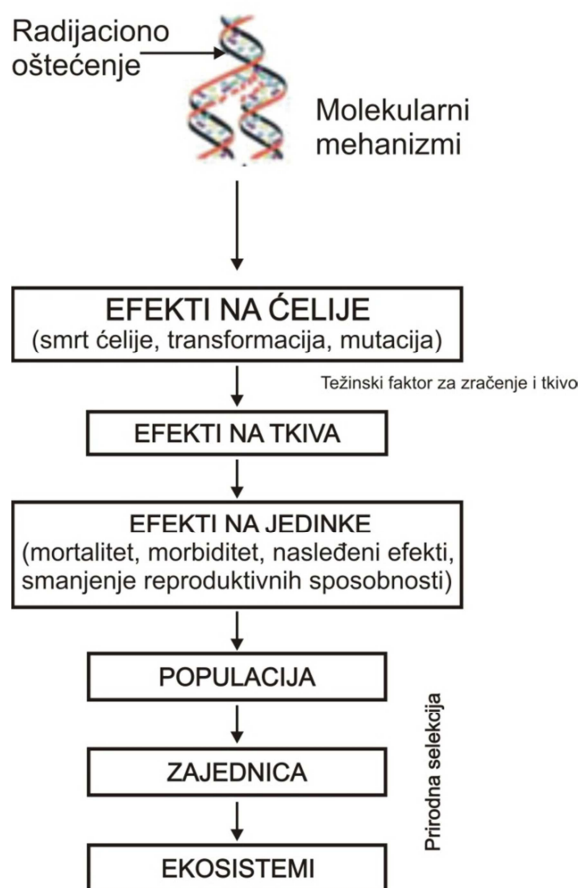
$^{137}\text{Cs}$  је један од најзначајнијих продуката фисије. Разлог лежи у чињеници да је изузетно токсичан, као и у чињеници да је, услед атмосферских нуклеарних проба које су обављане до 1968. године, и нуклеарних акцидентата у Чернобилу и Фукусими, скоро целокупна земљина површина у мањој или већој мери контаминирана овим изотопом, због чега је претња по здравље људи. Једна од шема распада  $^{235}_{92}\text{U}$  је и она која доводи до формирања радиоактивног изотопа  $^{137}\text{Cs}$  је:  $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow {}^{137}_{55}\text{Cs} + {}^{96}_{37}\text{Rb} + 3n$ . Из релације се види да се у овом случају из  $^{235}_{92}\text{U}$  поред  $^{137}_{55}\text{Cs}$  добија и  $^{96}_{37}\text{Rb}$ . Захваљујући својој великој активности  $^{137}\text{Cs}$  се врло брзо везује за површинске слојеве земље. Биљке га могу апсорбовати преко корена, из земље или инхалационим путем, а до човека доспева или путем хране или удисањем.

Независно од тога на који су начин доспели у Земљу, радиоактивни елементи миграцијом доспевају у воду, атмосферу, биљке, постају део ланца исхране и на крају доспевају у људски организам. На овај начин последице оваквих активности и догађаја могу бити фаталне, како за људе тако и за флору и фауну озрачене области. Јасно је да је праћење степена присуства радиоактивних елемената у свим чиниоцима људског окружења од круцијалног значаја.

Слика 27 илуструје ефекат зрачења хијерархијски, од ћелијског нивоа до читавог екосистема. Под екосистемом подразумевамо сложен систем састављен од абиотичког, физичкохемијског окружења и био система живих организама. Све компоненте екосистема су узајамно зависне и између њих постоји равнотежа уколико је човек својим утицајем не наруши.

---

<sup>28</sup> Unated Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation..



Слика 27: Ефекат зрачења [52]

Због овога је потребно вршити проверу степена радиоактивности, како у случају када постоји конкретан узрок, тако и превентивно у циљу контроле.

Провера радиоактивности подразумева одређивање нивоа активности биолошки значајних радионуклида, како природних тако и вештачки произведених.

Од природних радионуклида посебно је значајан  $^{40}\text{K}$ , док су од вештачких у првом реду  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , који су због својих физичко хемијских особина веома токсични.

$^{40}\text{K}$  је заступљен са 0,0117% у природном калијуму, К. Међутим велика заступљеност калијума у Земљиној кори има за последицу да се приликом гама спектрометријских мерења, неизбежно детектује и калијумова активност која потиче од могућег присуства калијума у узорку који се мери, или од калијума који се налази у објектима који окружују детектор.  $^{40}\text{K}$  је неизбежна компонента у дугом ланцу исхране (земљиште – биљке – животиње - човек) тако да просечно, човек храном унесе око 44000 Вq  $^{40}\text{K}$  годишње [51].

У овом раду је описан ЕС развијен са циљем да изврши анализу спектра природних радионуклида у смислу одређивања активности појединих радионуклида [53]. Развијен је у циљу аутоматизације процеса анализе наведених спектра, као и да омогући

анализу у ситуацији када стручњак за дату област није физички присутан захваљујући чињеници да су његова знања и искуства имплементирана у ЕС.

Кораци кроз које пролази ЕС су унос почетних података, калибрација енергијске скале, процена резолуције, процена шума и смањење утицаја истог, идентификација и класификација пикова у спектру, одређивање активности.

Са тачке гледишта развоја ЕС сваки део спектра који садржи структуре (пикова) је од интереса. Основа ЕС за анализу дискретних спектра је енергијска идентификација пикова и тачност његовог рада се може проценити само ако је он способан да идентификује сваку дискретну структуру који се појављује у спектру без обзира у ком енергијском делу спектра се она налазила. Чак и оне линије које се само потенцијално могу појавити морају бити предвиђене у бази знања, како се не би доспело у ситуацију да дискретна структура, различита од шума, остане не идентификована.

За развој и тестирање ЕС коришћен је ESBT I2+, чији механизма закључивања, који користи методу уланчавања уназад, омогућава рад ЕС без резолуције конфликта (ситуација када је испуњен услов за активирање више правила) што самим тим значи поузданији и бржи ЕС.

Окружење за развој које овај софтверски алат пружа програмеру могућност рада са процедуралним програмом, DBPas и базом формата formata DBASEIII. DBPas је Pascal интегрисан у I2+ и прилагођен његовом окружењу. Присуство овако интегрисаног алата је веома погодно јер пружа могућност једноставног позивања процедуралних програма који се користе за различита израчунавања и претраживање табела, као и размену података.

Централни део сваког ЕС је база знања. На Слици 28 је приказана структура базе знања наведеног ЕС, која садржи кодирано знање експерта. У овом случају мисли се првенствено знања везана за анализу спектра природних радионуклида, било да су она чисто теоријског карактера, било да су искуствена.

Знање је представљено у виду продукционих правила. Као што је већ наведено, структура продукционих правила је следећа:

RULE Име правила

IF Услов

THEN Закључак

ELSE Алтернативни закључак

Да би дошло до уланчавања правила потребно је да закључак једног правила буде идентички једнак услову другог.



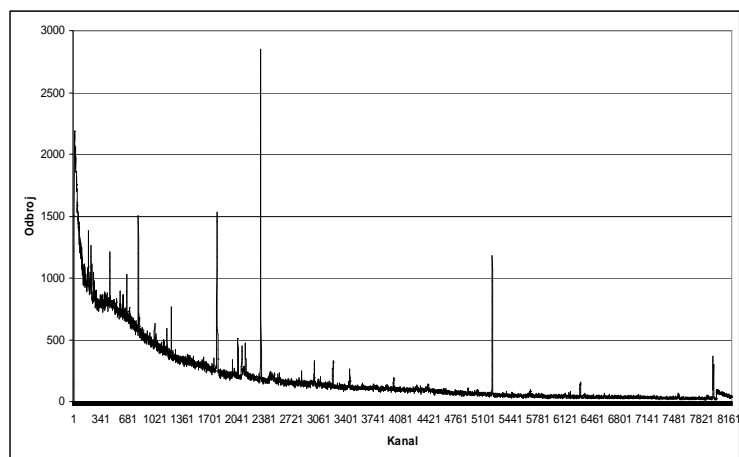
Слика 28: Структура базе знања ЕС.

Поред базе знања у структури ЕС издвајају се још и следеће компоненте: кориснички интерфејс и базе података (тебеле). У току рада ЕС непрестано се одвија двосмерна комуникација између базе знања и сваке од наведених компоненти. Ову комуникацију иницира механизам закључивања који врши уланчавање правила и све ове компоненте обликује у једну функционалну целину.

Спектри коришћени за развој ЕС добијени су на HpGe EG&G ORTEG детектору, резолуције 1,7 KeV и вишеканалном анализатору са 8192 канала. Спектри су добијени мерењем активности радионуклида у узорцима земље који су узети са 10 изабраних локација у Крагујевцу. Узорци су узимани у облику блокова правоугаоног облика димензија  $(10 \times 10)$  cm<sup>2</sup> дебљине 2 cm, почевши од површине до дубине 20 cm. Процес припреме узорака се састојао у томе што су сви узорци прво очишћени од камења, корења биљака и осталих нечистоћа, а затим су сушени 24<sup>h</sup> на температури од 105<sup>0</sup>C после чега су млевени и просејани.

Да би експериментални подаци, који у посматраном експерименту представљају спектре природних радионуклида и које чине два низа целих бројева, од којих први одговара редном броју канала а други коресподентном одброју, били употребљиви за рад ЕС, потребно их је превести у, за ЕС, разумљиву форму. Ово представља први корак анализе спектра ЕС – превођење снимљеног спектра у табеле одговарајућег формата.

На Слици 29 је приказан спектар добијен на овај начин.



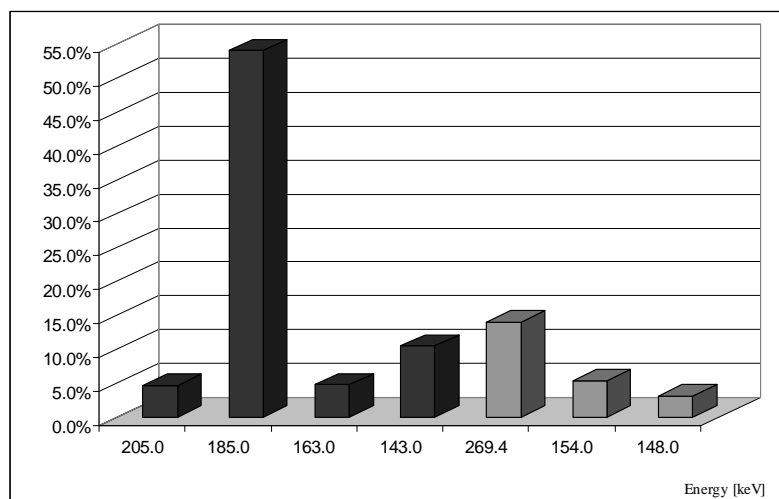
Слика 29: Спектар узорка узетог са локације “Posta2.dbf”, на дубини од 2цм.

Као што се на слици види, за наведене спектре је карактеристично присуство великог броја пикова који потичу од различитих радионуклида. Пикови су структуре у спектру које задовољавају услов да је одброј на  $n$ -том каналу већи или једнак одбројима на  $n-1$  и  $n+1$ :

$$O_{n-1} \leq O_n \geq O_{n+1} \quad (21)$$

где су  $O_{n-1}$ ,  $O_n$  и  $O_{n+1}$  одброји на  $n-1$ ,  $n$  и  $n+1$  каналу респективно.

Такође се са слике може видети, ако се говори о интензитету пикова, да спектар поред одређеног броја веома изражених и дефинисаних пикова, садржи и велики број мањих. Разлог за ово треба тражити у чињеници да елементи имају већи број, мање или више вероватних линија (шема) распада којима у спектру одговарају пикови одговарајућег интензитета. Као илустрација дате су шеме распада  $^{235}\text{U}$  и  $^{223}\text{Ra}$ .



Слика 30: Шеме распада  $^{235}\text{U}$  (■) и  $^{223}\text{Ra}$  (▣)

Као што се са слике види код  $^{235}\text{U}$  посебно је интензивна линија распада на енергији од 185 KeV, која има принос од преко 50%. Идентификације оваквог пика није проблем ни



када је класична анализа у питању. Међутим за нас су интересантне линије које одговарају мањим приносима, као што је овде случај са другим линијама распада. У класичној анализи, пракса је да се дефинише неки праг вероватноће испод кога се доприноси појединих нуклида не узимају у обзир. У случају  $^{223}\text{Ra}$  не постоји изразито доминантна линија, тако да је питање шта би класична анализа показала. Код мање вероватних линија распада проблем је што се приноси приближавају нивоу шума и због тога их је теже издвојити и идентификовати. Нама је управо ово била циљна група пикова, односно циљ нам је био да се из мноштва мање изражених пикова издвоје они који потичу од конкретног физичког догађаја, а не од шума.

Снимљени спектри су смештени у датотеку типа DBASE III чија је структура дата у Табели 5.

Канал	Одброј	Шум	Коригован одброј	Пикови	Пикови већи од S/N	Енергија	Порекло
-------	--------	-----	------------------	--------	--------------------	----------	---------

Табела 5: Структура табеле са снимљеним спектром.

Ради прегледности у Табелу 5 је интегрисана колона "Шум", у коју се уписују резултати снимљеног шума.

Колоне дате табеле садрже следеће податке:

- Канал – редни број канала на коме је снимљен дати одброј,
- Одброј – одброј забележен у току мерења,
- Шум - измерени шум у току мерења,
- Кориговани одброј - кориговани одброј је вредност одброја на датом каналу добијен када се од снимљене вредности одброја одузме шум забележен у току мерења,
- Пикови – у овој колони је предвиђено да ЕС поред сваког одброја окарактерисаног као пик (Једначина 18) упише ознаку 1. Ово је битно јер је рад ЕС углавном орјентисан на канале на којим се налазе пикови, тако да је ово олакшица која омогућава да се ЕС по потреби позиционира само на те канале користећи критеријум да се у пољу пик налази вредност 1. У зависности од фазе рада, ЕС може или да израчунава енергију која одговара датим каналима или да у каснијој фази рада врши идентификацију. На овај начин се смањује време рада ЕС.
- Пикови већи од S/N – у овој колони се обележавају само они пикови који задовољавају критеријум да им је интензитет већи од израчунате вредности односа сигнал/шум,  $I \geq S/N$ , где је  $I$  интензитет посматраног пика.
- Енергија – ЕС за сваки пик израчунава енергију на основу познавања почетне енергије и вредности енергије по каналу. Енергије су изражене у KeV. На основу израчунатих енергија, а користећи табеле енергијских стања радионуклида врши се идентификација пикова.

- Порекло – ово је колона у коју се бележи закључак до кога ЕС долази идентификацијом пикова.

Процес рада ЕС је подељен у више етапа.

- Унос иницијалних података,
- Иницијална корекција шума,
- Налажење и издвајање пикова,
- Калибрација енергијске скале,
- Процена резолуције,
- Анализа целокупног спектра, или циљане групе природних радионуклида,
- Идентификација и класификација пикова уз рекалибрацију енергијске скале,
- Уписивање резултат у одговарајуће табеле и извештавање корисника о добијеним резултатима,
- Преглед анализираних података.

Унос иницијалних података представља базичну припрему ЕС за почетак процеса анализе. Овде се мисли на обезбеђивање свих или дела потребних информација за почетак рада, а које нису имплементирани у базу знања у току процеса изградње ЕС. Интерактивном комуникацији са корисником, преко механизма уграђених у базу знања, ЕС долази до њих. У наставку ће бити наведена правила која омогућавају унос почетних података.

## **TITLE Program za analizu spektara rn DISPLAY**

### **Ekspertni sistem za analizu spektara prirodnih radionuklida**

!\*\*\*\*\*

**! Deklaracija promjenjivih** \*

!\*\*\*\*\*

.....

**OBJECT Analiza**

!\*\*\*\*\*

**! Polazne cinjenice** \*

!\*\*\*\*\*

**INIT** Ime tabele sa sumom=Sum.dbf

**INIT** Ime tabele sa kalibracionim spektrom=Kalib.dbf

**INIT** Ime tabele sa energijama=Energije.dbf

**INIT** Ime tabele sa prinosima izotopa=Prinos.dbf

!\*\*\*\*\*

!Cilj baza znanja \*

!\*\*\*\*\*

1 Završena analiza spektra

!\*\*\*\*\*

!Pravila baze znanje \*

!\*\*\*\*\*

**RULE** Ceo spektar

**IF** Analiza spektara prirodnih radionuklida

**AND** Analiza **IS** Ceo spektar

**AND** Ime spektra

**AND** Vrednost energije po kanalu

**AND** Broj kanala

**AND** Korak broja kanala

**THEN** Unos početnih podataka

**ELSE** Ponovni unos

**AND FORGET** Ime spektra

**AND FORGET** Vrednost energije po kanalu

**AND FORGET** Broj kanala

**AND FORGET** Korak broja kanala

**AND CYCLE**

**RULE** Deo spektra

**IF** Analiza spektara prirodnih radionuklida

**AND** Analiza **IS** Deo spektra

**AND** Ime spektra

**AND** Vrednost energije po kanalu

**AND** Donja granica energije

**AND** Gornja granica energije

**AND** Korak broja kanala

**THEN** Unos početnih podataka

**ELSE** Ponovni unos  
**AND FORGET** Ime spektra  
**AND FORGET** Vrednost energije po kanalu  
**AND FORGET** Donja granica energije  
**AND FORGET** Gornja granica energije  
**AND FORGET** Korak broja kanala  
**AND CYCLE**

**RULE** Tabele  
**IF** Unos početnih podataka  
**AND ASK** Ime tabele sa spektrom  
**AND ASK** Ime tabele sa pikovima  
**THEN** Imena tabela

.....

Дефинисањем промењива *analiza* као промењиве типа *object*, почетним правилима је омогућено кориснику да изабере да ли ће вршити анализу целог спектра или ће је ограничити на одређени енергетски опсег. Избор једне од понуђених опција се касније рефлектује на процес калибрације енергетске скале који је дефинисан на начин да уважи велики број канала на којима су спектри снимани.

*Корак броја канала* је битан податак који на основу искуства треба да дефинише корак за рекалибрацију енергијске скале, а о чему ће у наставку бити више речи.

Други део улазних података представљају имена табела које се користе у раду ЕС. Поред табела са снимљеним спектром и шумом ту су пре свега табела енергија природних радионуклида, али и табеле које се формирају са циљем да се у њих у одређеним фазама рада уписују издвојени подаци што омогућава боље функционисање ЕС. Једна од ових табела је и табела са издвојеним пиковима. Део имена ових табела се на почетку рада ЕС задају коришћењем функције **INIT**. Ова функција омогућава дефинисање и других фиксних параметара и користи се у почетном делу ЕС, одмах после декларације свих промењивих. Промењиве које се користе могу бити типа **NUMERIC**, **STRING**, **SIMPLEFACT** и **OBJECT**.

Следећи корак је иницијална корекција шума. Снимање сваког спектра је праћено шумом који је неизбежан. Утицај шума може некада бити толико велики да цео спектар постаје неупотребљив за анализу, а чешћи је случај да својим присуством може да прекрије поједине догађаје који могу да буду битни за анализу. У појединим спектрима постоје одређени услови односно критеријуми дефинисани на основу искуства у раду са датим спектрима, који омогућавају да се одмах провери употребљивост спектра за даљу анализу [36]. Уколико то није случај, као што је ситуација код спектра који су

предмет анализе овим ЕС, потребно је пробати да се појединим поступцима утицај шума што више смањи. Ово се ради у више корака, од којих први представља одузимање снимљеног шума од вредности снимљеног спектра.

Шум између осталог, представља последицу присуства природне радиоактивности. Као последица на појединим енергијама детектор бележи кумулативни допринос присуства радионуклида из узорка и окружења. Због тога је потребно ова два извора зрачења раздвојити. Раздвајање се врши тако што детектор без конкретног узорка у одређеном временском интервалу снима, што као резултат има спектар који одговара зрачењу околине.

Снимљени шум се иницијално преводи у *txt* фајл следећег формата,

```

.....
1764:  146  140  166  191  233  255  247  319  376  402  371  358
1776:  334  333  290  246  225  180  140  170  140  148  127  146
1788:  118  134  125  117  110  99  101  118  94  112  115  100
1800:  116  117  109  120  111  95  106  126  133  112  116  111
1812:  108  116  133  111  121  122  110  121  112  128  113  116
1824:  108  112  145  109  124  123  106  109  124  108  102  119
1836:  109  94  113  110  119  111  115  118  120  98  114  112
1848:  121  112  105  120  116  103  102  121  116  121  105  114
1860:  111  102  112  102  115  112  125  104  117  114  104  120
1872:  102  95  116  97  115  110  116  98  116  105  93  108
.....

```

Табела 6: Део спектра снимљеног шума.

Накнадно се запис шума преводи у једнодимензионални који погодан за даљи рад. Наведене конверзије се врше програмима написаним у неком од класичних процедуралних програма. У овом конкретном случају коришћен је Visual Basic:

```
Private Sub cmdodbroj_Click()
```

```
Dim ime As String, a As String, a1 As String, a2 As String, a3 As String
```

```
Dim a4 As String, a5 As String, a6 As String, a7 As String, a8 As String
```

```
Dim a9 As String, a10 As String, a11 As String
```

```
Dim imes As String, imep As String
```

```
ime = txttime.Text
```

```
imep = ime + ".txt"
```

```
imes = ime + "s.txt"
```

```
Open "f:\.....\konverzija suma\" & imep For Input As #1
```

```
Open "f:\.....\konverzija suma\" & imes For Output As #2
```

```
Do While Not EOF(1)
```

```
Line Input #1, linija
```

```
  a = Mid$(linija, 11, 7)
```

```
  Print #2, a
```

```
  a1 = Mid$(linija, 21, 7)
```

```
  Print #2, a1
```

```
  a2 = Mid$(linija, 31, 7)
```

```
  Print #2, a2
```

```
  a3 = Mid$(linija, 41, 7)
```

```
  Print #2, a3
```

```
  a4 = Mid$(linija, 51, 7)
```

```
  Print #2, a4
```

```
  a5 = Mid$(linija, 61, 7)
```

```
  Print #2, a5
```

```
  a6 = Mid$(linija, 71, 6)
```

```
  Print #2, a6
```

```
  a7 = Mid$(linija, 81, 7)
```

```
  Print #2, a7
```

```
  a8 = Mid$(linija, 91, 7)
```

```
  Print #2, a8
```

```
  a9 = Mid$(linija, 101, 7)
```

```
  Print #2, a9
```

```
  a10 = Mid$(linija, 111, 7)
```

```
  Print #2, a10
```

```
  a11 = Mid$(linija, 120, 8)
```

```
  Print #2, a11
```

```
Loop
```

```
Close #1
```

```
Close #2
```

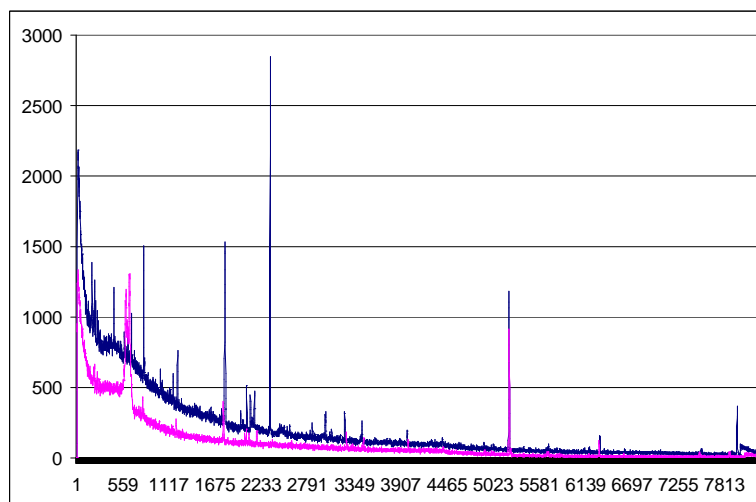
```
End Sub
```

Да би био употребљив за рад ЕС, снимљени шум се накнадно конвертује у DVIII формат и смешта у посебну табелу, „SUM. dbf“, која садржи само поље одброј.

Odbroj\_suma    N    5

На овај начин, коришћењем редног броја слога као редног броја канала врши се уштеде у меморији која у раду са великим базама података може да буде веома значајна.

На Слици 31 су упоредно приказани снимљени спектри природних радионуклида (плава боја) који је снимљен на локацији „Posta2.dbf“ на дубини од 2 cm и шум (пунк боја).



Слика 31: Упоредни приказ снимљеног спектра и шума.

ЕС позива Pascal -ски програм који врши корекцију снимљеног одброја и новодобијене вредности уписује у наведено поље KORODBROJ. Позивање Pascal-ских програма врши се наредбом CALL иза које се наводи име конкретног програма.

<i>RULE Korekcija šuma</i>	<i>SEND Kanal</i>
<i>IF Unešena imena</i>	<i>RETURN OdbrojS</i>
<i>AND Kanal&lt;=KanalTot</i>	<i>AND CALL RSum</i>
<i>THEN Korekcija šuma</i>	<i>SEND ImeS</i>
<i>AND CALL OdbrojSRN</i>	<i>SEND Kanal</i>
<i>SEND ImeSRN</i>	<i>SEND OdbrojSRN</i>
<i>SEND Kanal</i>	<i>SEND OdbrojS</i>
<i>RETURN OdbrojSRN</i>	<i>AND Kanal:= Kanal +1</i>
<i>AND CALL OdbrojS</i>	<i>AND FORGET Korekcija šuma</i>
<i>SEND ImeS</i>	<i>AND CYCLE</i>

Параметри неопходни за рад Pascal-ских програма се шаљу из ЕС коришћењем наредбе SEND, док се за “враћање” резултата користи наредба RETURN. У оквиру наведеног правила се користи петља FORGET – CYCLE која омогућава симулирање процеса уланчавања унапред. Наредба CYCLE омогућава “врућ старт” претраживања базе знања при коме се задржавају све до тада познате чињенице. Једино се коришћењем наредбе FORGET могу експлицитно навести чињенице које треба променити или обрисати из радне базе. Уколико при коришћењу ове петље не дође до промене неке од чињеница онда се претраживање понавља на исти начин што има за последицу бесконачно понављање петље. Селективним “заборављањем” чињеница коришћењем наредбе FORGET, уз одговарајућу промену података, омогућава се претраживање базе знања са новим садржајем чињеница. На тај начин се претраживање базе усмерава чињеницама што је основа метода уланчавања унапред.

Као илустрација Pascal-ског програма дат је листинг за „RSum.pas“, програма који врши корекцију шума:

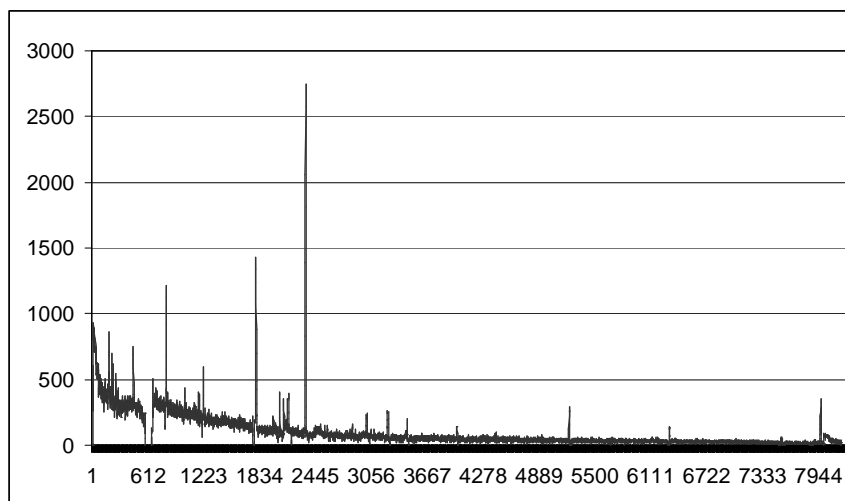
```

program reduction_noise (receive                               energy_:real;
imes:string(10);                                           origin_:real;
                                                           channel:integer;   end;
                                                           odbrojsrn:real;
                                                           odbrojs:real);    begin
var                                                         open(table, names);
  odbroj:real;                                             goto(channel, table);
  tabela:record                                           odbroj:= odbrojsrn - odbrojs;
  odbroj_:real;                                           table.count_:= odbroj;
  sum_:real;                                              replace(table);
  korodbroj_:real;                                       close(table);
  pik_:real;                                             end;
  pikSN_:real;

```

Из наведеног листинга се може видети да се дефинише промењива *tabela* типа *record* која структурно у потпуности одговара табели у којој се налази снимљени спектар и у коју се уписују кориговани подаци. Све колоне су типа *real*.

На Слици 32 је приказан спектар са коригованим вредностима одброја после наведене корекције шума.



Слика 32: Спектар после прве корекције шума.

Упоредивањем спектра се уопштено може видети смањење нивоа одброја на свим каналима, а посебно је уочљива корекција пика који се налази на на 5216 каналу. Овај пик одговара Калијуму, и у изворно снимљеном спектру је веома изражен. Ово је последица кумулативног доприноса приноса  $^{40}K$  који потиче из узорка али и приноса



који настаје као последица његовог присуства у клупи на којој се налази детектор, тачније у дрвету од кога је клупа направљена.

Целокупна даља анализа спектра се врши са коригованим вредностима одброја.

Након уношења полазних података и прве корекције шума, ЕС почиње са анализом. Први корак је издвајање пикова, односно свих канала на којима се налазе одброји који задовољавају наведени критеријум (Једначина 21). За ову сврху ЕС позива одговарајући Pascal-ски програм који у припадајуће поље ПИК, сваког таквог одброја, уписује ознаку 1. Велики број издвојених пикова, не одговара конкретним физичким догађајима, већ потиче од шума. Као би се у даљем раду ЕС ограничио на мањи број пикова изван број таквих пикова се на основу чињенице да потиче од шума искључује из дате анализе. Наведена чињеница се у пракси материјализује кроз однос сигнал/шум,  $D(k)$  (Једначина 1). Ово је однос се дефинише на основу одређеног броја вредности одброја највећих и најмањих пикова. Његова конкретна вредност ће директно зависити од броја пикова који се користе у процени. Кориснику је дата могућност да сам уноси колики ће то број бити, из разлога што је та вредност у директној вези са искуством рада са оваквом врстом спектра.

Да би ЕС могао да изврши наведену процену односа сигнал/шум потребно је да се издвојени пикови, као што је већ описано, поређају у нерастући низ. Како би се ово урадило ЕС позива Pascal-ски програм који као улазне податке добија имена табеле са снимљеним спектром и име табеле са издвојеним пиковима. Као резултат добија се структура пикова као на Слици 8.

У следећем кораку ЕС врши проверу интензитета свих издвојених пикова и при томе оставља ознаку 1 само одбројима који су изнад границе израчунатог односа. На овај начин је извршена друга корекција шума чиме је смањен број пикова које треба анализирати, а самим тим и време анализе (Видети 4.3).

За конкретан случај спектра приказаног на Слици 32, укупан број издвојених пикова је  $N = 2557$ . За одређивање односа сигнал/шум узет је однос сума одброја десет највећих и десет најмањих пикова тако да се добија:

$$D(k) = \frac{\sum_{k-9}^N o_i}{\sum_1^{10} o_i} = \frac{11541}{81} \approx 142, \quad (22)$$

где  $O_i$  представља одброје на одговарајућим каналима. Само пикови чији је интензитет већи од израчунатог односа биће предмет анализе ЕС. На овај начин је укупан број пикова смањен на 689, што представља приближно 70% првобитно издвојених пикова. Смањење броја пикова који ће бити анализирани доводи до смањења времена које је потребно за укупну анализу спектра, чиме се рад ЕС убрзава.

У Табели 6 је дат део наведеног спектра.

У колони ПИК су обележени сви пикови, док је у колони “Пикови већи од  $D(k)$ ” ознака 1 остала само код пикова који су задовољили критеријум и који ће бити предмет даље анализе ЕС.

Следећа фаза рада треба да изврши превођење спектра у енергијски, односно потребно је да се каналима придруже одговарајуће вредности енергије. Неопходан предуслов за ово је да се изврши калибрација скале, односно да се одреди вредност енергије по каналу.

Одређивање вредности канала се врши на основу добро дефинисаних и енергетски позиционираних структура (пикова).

Калибрација је код анализе спектра веома битна, а код спектра природних радионуклида постоје додатне две карактеристичне ставке о којима се мора водити рачуна при процесу калибрације. То су велики број канала на којима су спектри снимани и распоређеност пикова за идентификацију дуж целе скале.

Канал	Одброј	Шум	Коригован одброј	Пикови	Пикови већи од $D(k)$	Енергија	Порекло
...	...	...	...	...	...		
1791	1455	110	1345				
1792	1531	99	1432	1	1		
1793	1467	101	1366				
1794	1452	118	1334				
.	...	...	...	...	...		
1809	234	112	122				
1810	254	116	138				
1811	257	111	146	1	1		
1812	247	108	139				
1813	238	116	122				
1814	234	133	101				
1815	245	111	134	1			
1816	254	121	133				
...	...	...	...	...	...		
1818	241	112	129	1			
1819	209	128	81				
...	...	...	...	...	...		

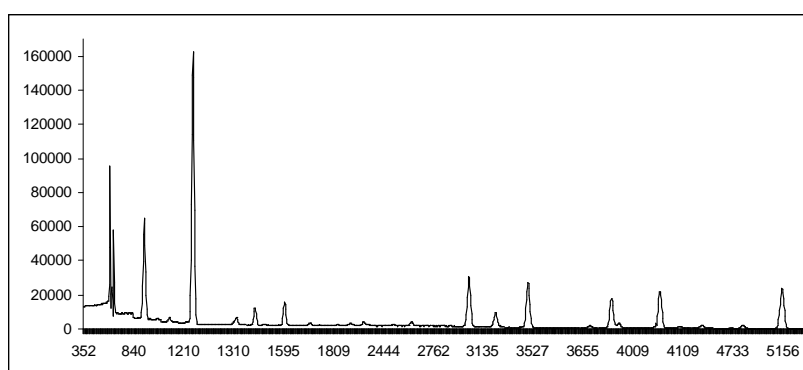
Табела 6: Део табеле се спектром Posta2.dbf.

Проблем који настаје као последица великог броја канала се испољава у ситуацији када вредност енергија по каналу нема целобројну вредност, што је у пракси углавном случај па је из тог разлога и рад ЕС прилагођен таквој ситуацији. Практично са становишта рада ЕС, то значи да је потребно вршити калибрацију више пута у току рада, односно потребно је за поједине опсеге канала (*корак броја канала*) постављати скалу на “нулу” више пута и сукцесивно вршити израчунавање вредности енергија по

каналу. Да би ово било могуће неопходни предуслов је да калибрациони спектар има у ширем опсегу добро дефинисане и тачно енергетски позициониране структуре.

Ако се ово има у виду, идеја да се у ову сврху искористи спектар Цезијума [49] и његове референтне тачке није била у потпуности оптимална и примењива без додатних корака с обзиром да се дискретна структура у овом спектру завршава фотопиком на 662 KeV. Ово је разлог због кога би се код идентификације пикова у спектрима природних радионуклида на вишим енергијама појавио проблем. Да би се ово превазишло потребно је вршити корекције израчунатих вредности енергија пикова на каналима који се бирају као референтни. Практично ово представља корекцију израчунате вредности енергије на датом, изабраном каналу на основу почетне калибрације, за вредност енергије која се рачуна као умножак броја канала и вредности енергије која се при заокруживању губи. ЕС израчунату вредност енергије по каналу заокружује на одређени број децимала, максимално три, најчешће две, тако да се појављује разлика између стварне вредности и оне коју касније користи сам ЕС. Када су у питању спектри снимани на мањем броју канала одступања су мала и могу се занемарити. Међутим на броју канала на којима су снимани спектри који су предмет анализе овим ЕС овакве апроксимације нису прихватљиве.

Како би се ово избегло, изабрано је решење којим се за калибрацију користи спектар Еуропијума<sup>29</sup>, <sup>152</sup>Eu. Овај спектар има више дефинисаних структура које су погодне да се користе као референтне калибрационе тачке и које покривају опсег од 50 – 2000 KeV, што практично значи да су распоређене дуж целог спектра. Појачање система се подешава тако да се све емитоване гама линије могу уочити у спектру. Време мерења се бира тако да статистичка грешка у површинама линије буде мања од 1%.



Слика 33: Спектар Еуропијума.

Енергије најинтензивнијих линија <sup>152</sup>Eu су дате у Табели 7:

---

<sup>29</sup> Calibration source <sup>152</sup>Eu was sent from Laboratoire de Metrologie des Rayonnements Ionisants, Bureau National de Metrologie, in France.

Energija [KeV]			
1.	121,78	11.	841,59
2.	244,69	12.	867,39
3.	295,94	13.	919,40
4.	344,28	14.	1005,28
5.	367,79	15.	1085,28
6.	411,12	16.	1089,70
7.	586,29	17.	1212,95
8.	688,68	18.	1299,12
9.	778,90	19.	1408,01
10.	810,46	20.	1457,63

Табела 7: Енергије најинтензивнијих линија  $^{152}\text{Eu}$  [51].

Ове вредности се уписују у табелу “Kalib.dbf”, која се налази у групи иницијално потребних табела и која мора бити попуњена пре почетка рада ЕС.

Калибрација коришћењем карактеристичних пикова из спектра еуропијума се врши на тај начин што ЕС сукцесивно учитава референтне калибрационе пикове и позиционира се на њима припадајуће канале. Вредности канала се придружују промењивама  $k_1$  и  $k_2$ . Упоредо се учитавају и припадајуће енергије калибрационих пикова које се придружују промењивама  $E_{rf1}$  и  $E_{rf2}$ . Помоћу ових величина израчунава се вредност енергије по каналу:

$$\Delta E = \frac{E_{rf2} - E_{rf1}}{k_2 - k_1} \quad (23)$$

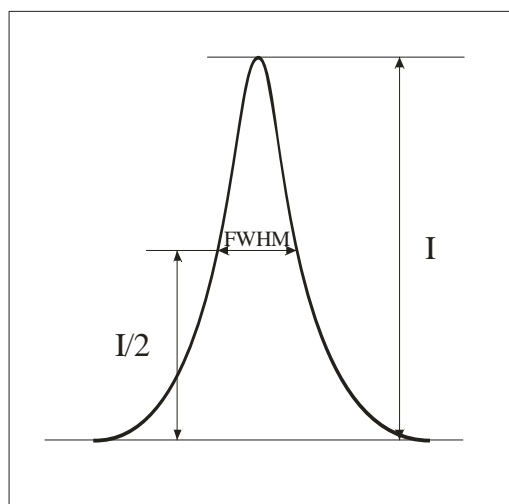
Када је израчуната вредност енергије по каналу,  $\Delta E$ , врши се придруживање енергија каналима који се налазе у интервалу између референтних канала  $k_1$  и  $k_2$ :

$$E_k = E_{rf1} + k\Delta E, \quad (24)$$

где су  $k$  и  $E_k$  канал и припадајућа енергија и  $k$  - тог канала, а  $E_{rf1}$  енергија ниже енергетски позиционираног референтног пика. Када се свим каналима придружи одговарајућа вредност ЕС се позиционира на други референтни пик и понавља поступак. У новом циклусу калибрације претходно коришћен  $E_{rf2}$  постаје  $E_{rf1}$ . Поступак се понавља све док се не изврши калибрација целе енергијске скале, и тек тада ЕС приступа идентификацији издвојених пикова. Колико ће група референтних пикова бити узето је донекле ствар конкретних околности и потреба. Теоретски, могло би се на свака два изражена пика вршити рекалибрација, али наша искуства у раду говоре да је најоптималније да се изабере до 5 циклуса рекалибрације. Наравно уколико се анализира део спектра, онда је број циклуса који је потребан мањи и у зависности од изабране ширине опсега анализе може бити и један. *Корак броја канала* је величина дефинисана на почетку рада ЕС која треба да уважи број изабраних циклуса.

На овај начин је спектар преведен у енергијски, односно сваком каналу је придружена одговарајућа вредност енергије. Када је спектар постао енергијски потребно је проценити резолуцију апаратуре како би ЕС приступио процесу идентификације и класификације пикова.

Резолуција или моћ разлагања апаратуре,  $\Delta E_{res}$ , је величина која одређује најмање енергијско растојање на коме се два суседна пика у спектру виде одвојено. Уколико је енергетска разлика између два пика мања од  $\Delta E_{res}$  онда се ти пикови не могу раздвојити. У пракси се они у спектру виде као шира структура која одговара групи стања. Процењује се као ширина на полувисини најоштријег максимума, односно најизраженијег пика (FWHM – Full Width Half Maximum).



Слика 34: Одређивање резолуције.

Када је извршена калибрација и када је одређена резолуција ЕС приступа класификацији и идентификацији пикова. Међутим овде се додатно јавља проблем постојања систематске грешке мерења као последица различитих апаратурних утицаја. Последица је да измерена вредност енергије пика не одговара стварној, што отежава поступак класификације. Како би се ово одступање svelo на минимум врши се корекције систематске грешке мерења. У ту сврху је потребно одредити два референтна пика чији се коресподентни енергијски нивои могу лако одредити иако није коригована грешка мерења. Из табеле која садржи издвојене пикове узима се најинтензивнији пик и на основу редног броја канала и вредности енергетског прираштаја по каналу рачуна се енергија пика  $E_i$ . Из табеле енергијских стања се учитавају два суседна нивоа између којих се налази посматрани пик енергије  $E_i$ , и за коресподентни се бира ближи од та два.  $E_{n-1}$  и  $E_{n+1}$  су суседни нивои коресподентном енергијском нивоу  $E_n$ . Да би пик могао да буде изабран за референтни морају да буду задовољене следеће релације [17]:

$$E_{n+1} - E_n > \Delta E_{max}, \quad (25)$$

$$E_n - E_{n-1} > \Delta E_{max}, \quad (26)$$

$$|E_n - E_{n-1}| \leq \Delta E_{max}, \quad (26)$$

где су  $E_{n-1}$  и  $E_{n+1}$  енергије суседних енергијских нивоа коресподентном енергијском нивоу  $E_n$ ,  $\Delta E_{max}$  је максимална грешка мерења која се процењује од стране експериментатора на основу искуства у раду са апаратуром. Уноси се од стране корисника на почетку анализе.

У случају да релације нису задовољене узима се следећи по величини пик и поступак се понавља све док се не дође до пика који ће испунити задате услове. Потребно је наћи два оваква пика, након чега се може извршити корекција линеарне грешке мерења. Прво се коригује вредност енергије по каналу:

$$\Delta E_{corr} = \frac{E_{ref1} - E_{ref2}}{n_1 - n_2}, \quad (27)$$

где је  $\Delta E_{corr}$  коригована вредност прираштаја енергије по каналу, а  $n_1$  и  $n_2$  су редне вредности канала на којима се налазе изабрани референтни пикови. Сада се коригована вредност енергије пика на  $k$ -том каналу може да израчуна као:

$$E_k^{corr} = E_{rf1} + k\Delta E_{corr} \quad (28)$$

Након овога ЕС приступа класификацији којом се пикови сврставају у једну од седам врста [54].

- Прву врсту чине пикови са следећим карактеристикама:
  - Најближи енергијски ниво  $E_n$  је слободан
  - Најближи суседни нивои су на растојањима која су већа од процењене резолуције  $\Delta E_{res}$
  - Одброји свих пикова који се налазе на растојању мањем од  $\frac{\Delta E_{res}}{2}$  су мањи од одброја посматраног пика
- Да би пик био класификован као пик друге врсте потребно је да:
  - Најближи енергијски ниво  $E_n$  буде слободан
  - На растојању које су мање од процењене резолуције  $\Delta E_{res}$  се налази један или више пикова, што аутоматски значи да се они не могу раздвојити за разлику од пикова из прве врсте
- Трећу врсту пикова чине:

- Пикови који имају суседне пикове који се не могу разложити, као и код друге врсте, али су неки од тих пикова већ евидентирани, што није био случај са пиковима друге врсте.
- Четврту врсту чине пикови са следећим карактеристикама:
  - Најближи суседни ниво им је неевидентирани
  - На растојању које је мање од  $\Delta E_{res}$  налази се пик који има већи одброј од посматраног пика. За дати пик се у том случају претпоставља да потиче од шума.
- Пету врсту сачињавају сви пикови код којих је:
  - Најближи енергијски ниво евидентиран
  - Разлика кориговане измерене енергије посматраног пика и кориговане измерене енергије пика који одговара евидентираном најближем нивоу мања од резолуције. Овакви пикови се суперпонирани на страницу пика и претпоставља се да потичу од шума.
- За шесту врсту је потребно да:
  - Пикови одговарају претходно евидентираном енергијском нивоу
  - Разлика кориговане измерене енергије посматраног пика и кориговане измерене енергије пика који одговара евидентираном најближем нивоу је већа од резолуције.
- Седмој врсти припадају сви они пикови који одговарају претходно неевидентираним енергијским нивоима. Разлика између кориговане  $E_i'$  енергије пика и одговарајућег најближег енергијског нивоа  $E_n$  је већа од  $\frac{\Delta E_{res}}{2}$ .

За пикове 4, 5, 6 и 7 врсте се претпоставља да потичу од шума и као такви нису од интереса за даљи процес анализе. Идентификација се врши само за пикове типа 1, 2 и 3 зато што су то пикови стања.

Када је извршена идентификација ЕС одређује активност појединих радионуклида.

Као што је већ наведено, елементи имају више шема распада са различитим вероватноћама које се крећу у опсегу од пар процената до 100% у крајњем случају који одговара ситуацији када је присутна само једна линија распада. За нуклеарне физичаре су интересантни само пикови који одговарају распадима са вероватноћом заступљености која је већа од 10%. Из тог разлога ЕС прво врши идентификацију оваквих пикова. Идентификација се врши тако што ЕС позива Pascal-ски програм који израчунату вредности енергије датог пика пореди са вредностима енергија природних

радионуклида. У случају да постоји подударање ових енергија пик се класификује као пик који потиче од прелаза и у поље ПОРЕКЛО табеле са спектром се уписује ознака 1. Сви остали пикови у овој фази добијају ознаку 2 што кориснику говори да ови пикови потичу од шума или да једноставно нису интересантни за даља израчунавања. Ради прегледности сви подаци који се односе на пикове прелаза се смештају у посебну табелу REZULTAT.DBF која има следећу структуру:

Канал	Кородброј	Енергија	Порекло	Ширина пика	$K_n$	$K_k$	Активност

Табела 8: Структура табеле са резултујућим подацима.

Међутим како је задатак ЕС да изврши идентификацију свих пикова, па и оних који одговарају пиковима са доприносом који је мањи од 10%, корисник може да зада ЕС да покуша и идентификацију оваквих пикова. Оно што овде представља проблем је чињеница да овакви пикови имају мањи интензитет и као такви могу да буду прекривени шумом. Због тога овде ЕС почиње обрнути поступак. Из табеле са природним радионуклидима уз помоћ Паскалског програма се учитавају енергије оваквих пикова и у спектру проверава да ли се на каналу који одговара тој енергији налази пик. Уколико се провером утврди да се на одговарајућем каналу налази пик ЕС у припадајуће поље ПОРЕКЛО уписује ознаку 3 што одговара распаду који има вероватноћу мању од 10%.

Активност се одређује за сваки пик који у колони порекло има ознаку 1 или 3. У том циљу ЕС се позиционира на те пикове. За сваки пик процедура се понавља. Оно што ЕС треба да израчуна је *Net* који представља суму одброја фотопика на опсегу канала који представља његову ширину. Ширина пика се рачуна за сваки пик понаособ. Разлог је искуствене природе која каже да иако сви пикови имају нормалну расподелу тј представљени су у форми Гаусијана која је по својој природи симетрична, због присуства суперпонираних пикова долази до нарушавања пуне симетричности. Поменута вредност се рачуна коришћењем програма који користи алгоритам за проверу вредности и односа одброја на свакој страници Гаусијан криве, при чему мора да узме у обзир могућност појаве суперпонираних пикова који могу да буду последица шума или недовољно изражених пикова других прелаза. У сваком случају, на основу искуства се показало да присуство суперпонираних пикова на главном, нарушава константан пад вредности одброја на највише 3 канала, тако да и сам Pascal-ски програм има алгоритам прилагођен оваквој ситуацији. У случају да се појави суперпонирани пик програм ће ширину овог пика третирати као интегрални део ширине матичног изабраног пика. Процес се понавља за леву и десну ширину, након чега се добијају две величине  $\Delta X_l$  и



$\Delta X_d$  које представљају леву и десну ширину пика. Укупна ширина,  $\Delta X$ , пика се добија као збир ове две изтачунате ширине:

$$\Delta X = \Delta X_l + \Delta X_d \quad (29)$$

Пун опсег тј. почетни и крајњи канал ширине пика се рачуна као:

$$K_p = X_{fp} - \Delta X_l \quad (30)$$

$$K_k = X_{fp} + \Delta X_d \quad (31)$$

У Једначинама 30 и 31,  $X_{fp}$  је канал на коме се дати пик налази,  $\Delta X_d$  и  $\Delta X_l$  су израчунате десна и лева ширина пика, а  $K_p$  и  $K_k$  су величине које представљају вредности почетног и крајњег канал ширине пика. Величине  $K_p$ ,  $K_k$  и  $\Delta X$  се уписују у одговарајућа поља табеле REZULTAT.DBF.

Када су одређени почетни и крајњи канали ширине пика, ЕС може да извршити сумирање припадајућих одброја  $O_i$ , канала из опсега ширине:

$$Net = \sum_{K_p}^{K_k} O_i \quad (32)$$

Када је израчунат  $Net$  израчунава се активност датог радионуклида. Активност присутних радионуклида у спектру рачуна Паскалски програм користећи формулу:

$$A = \frac{Net}{p m t e} \quad (33)$$

где је  $p$  принос и за одређени изотоп је константа (на пример за  $^{137}Cs$  вредност ове константе је  $p = 0,805$ ). Бездимензионална је величина. Даље је  $m$  маса узорка,  $t$  време мерења и  $e$  је ефикасност детектора (ефикасност детектора је 35%).

Поред величина које се задају на почетку ове фазе рада ЕС и које су константне (ефикасност детектора и принос за појединачне изотопе) да би могао да настави са радом ЕС од корисника тражи да унесе податке који су везани за конкретан узорак чији се спектар анализира тј. време мерења,  $t$  и масу узорка чију активност одређујемо,  $m$ . Израчунате вредности се бележе у табелу.

Када су израчунате активности присутних радионуклида у узорку могуће је, по потреби израчунати релативне односе активности појединих радионуклида.

## 7. Закључак

Примена ЕС у анализи различитих дискретних спектра у физици показала је у пракси низ предности у односу на класичне методе анализе. Ове предности се пре свега односе на повећање квантитета и квалитета добијених информација о физичким процесима, као и на знатно бржи процес анализе који се добија стандардним процедурама. Треба нагласити да су са повећањем сложености спектра ове предности све више долазе до изражаја. Субјективни фактор је у потпуности отклоњен, а анализирају се све структуре које се у спектру појављују.

У овом раду је конкретно приказан експертни систем који је развијен за анализу спектра природних радионуклида. Коришћени спектри су добијени мерењем активности узорака узетих на локацији „Пошта“, на различитој дубини, на територији града Крагујевца.

Ово је још један у низу експертних система који су развијени у циљу анализе дискретних спектра. И овај, као и претходни, је показао оправданост коришћења експертних система у процесу анализе дискретних спектра. Експертни систем је настао надоградњом претходно развијеног експертног система за анализу спектра из области нуклеарне физике, односно физике сударних процеса у атомској и молекулској физици.

У конкретном експертном систему поред класификације и идентификације пикова, посебна је пажња посвећена отклањању шума као и идентификацији пикова са мањим приносом а који се класичним методама веома често и не детектују.

Спектри природних радионуклида се били веома интересантни јер је присуство радиоактивности увек актуелно, а актуелност ових спектра проистиче из чињенице да присуство ових елемената у човековој средини има веома негативне ефекте. Сам експертни систем може да се користи у циљу контроле окружења или узорака са појединих локација, као и у случају постојања контаминаности земљишта и матерјала.

Наведена логика која је коришћена при развоју овог експертног система може лако да се генерализује и уз адаптацију базе знања специфичним знањима и искуствима применити и на друге области. Управо је адаптивност и могућност проширења базе знања једна од основних карактеристика експертног система. Ово је управо оно што их разликује у односу на класичне процедуралне језике.

У раду је описана и методологија експертних система са освртом на Аристотелову логику и силогизме. Идеја је била да се објасни логичка заснованост експертних система који, користећи представљање знања у форми закључивања путем продукционих правила, омогућавају имитирање логичког закључивања, односно имитирање мисаоног процеса експерта. Ово је управо и основна карактеристика експертних система.

Разматрана је и могућност примене експертних система у физици уопштено. Показано је да је могуће извршити аутоматизацију процеса анализе и искуствена знања пренети у експертни систем.

## Литература

1. G. V. F. Hegel, *Razni spisi*, (Sarajevo, 1982).
2. J. E. Poliščuk, *Ekspertni sistemi* (ETF Podgorica, 2004).
3. A. Tanabaum, *Arhitektura i organizacija računara* (Mikro knjiga, Beograd, 2007).
4. E. Rich and K. Knight, *Artificial Intelligence* (Second Edition, New York: McGraw-Hill, 1991).
5. A. Bonett, *Artificial Intelligence* (Prentice Hall International, Engelwood Cliffs, New Jersey, 1985).
6. V. Devedžić, *Software Patterns*, in: Chang, S.K. (ed.), *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering Vol.2* (World Scientific Publishing Co., Singapore, 2002).
7. A. Barr and E. Feigenbaum, *The Handbook of Artificial Intelligence Vol. 1* (William Kaufmann, Inc., 1981).
8. <http://www.scribd.com/doc/118050232/eKnjiga-VESTACKA-INTELIGENCIJA-2003#scribd>
9. <http://www.turing.org.uk/scrapbook/test.html>
10. J. You, *Beyond the Turing Test*, Computer Science, Vol. 347, Issue 6218, 2015, pp. 116.
11. R. Hindin, *Artificial intelligence in Bussines*, Science and Industry Vol. 1 (Prentice Hall, 1986).
12. <http://www.eis.mdx.ac.uk/staffpages/rvb/teaching/BIS4435/06-Expert-Systems.pdf>
13. A. Goldman, *Empirical knowladge*, (Berkley, CA: University of California, 1991).
14. *Veštačka inteligencija, ekspertni sistemi i neuronske veze*, (Fakultet za menadžment, Novi Sad, 2005).
15. P. Murray, *Information, knowledge and document management technology*, (KM Briefs and KM Metazine, 2000), dostupno na: [http://www.ktic.com/topic6/12\\_INFKM.HTM](http://www.ktic.com/topic6/12_INFKM.HTM)
16. [ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ea072\\_2s06/notas\\_de\\_aula/Lecture02.pdf](ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ea072_2s06/notas_de_aula/Lecture02.pdf)
17. V. Cvjetković, *Ekspertni sistemi za obradu podataka u elektron-atomskoj spektroskopiji*, (Doktorska disertacija, Univerzitet u Kragujevcu, 1998).

18. A. Kidd, M. Welbank, *Knowledge acquisition, Expert Systems, State of the Art Report* (Pergamon Infotech Limited, Maidenhead, Berkshire, England, 1984).
19. I. Stanković, *Edukacija i poverenje na semantičkom webu* (Doktorska disertacija, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2013).
20. (Giarratano & Riley, 1998).
21. C. Borkar, *Expert system: The new approach*, International Journal on Advanced Computer Theory and Engineering (IJACTE), Vol. 2, Issue 5, 2013.
22. Britansko društvo za računare.
23. A. D. Lunardhi and K. M. Passino, *Verification of qualitative properties of rule-based expert systems*, Applied Artificial Intelligence: An International Journal, Vol. 9, Issue 6, pp. 587-621, 1995.
24. R. K. Lindsay, B. G. Buchanan, E. A. Feigenbaum and J. Lederberg, *DENDRAL: a case study of the first expert system for scientific hypothesis formation*, Artificial Intelligence, Vol. 61, pp. 209-261, 1993.
25. J.B. Woodward, *Developing K-ONCOCIN: a case study in the cognitive process of knowledge engineers*, Knowledge Acquisition 4, pp. 237-258, 1992.
26. S. Muqueem, *Expert system application in library*, An International Peer Reviewed Bilingual E-Journal Of Library And Information Science, Vol. 01, pp. 2394-2479, 2014; <http://www.klibjlis.com/2.14.pdf>
27. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/recursive.pdf>,
28. <http://clipsrules.sourceforge.net/>;
29. V. Cvjetković, *Alatka za ekspertne sisteme*, PC PRESS #76, 2002.
30. C. L. Forgy, *Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem*, Artificial Intelligence, 1982.
31. M. Fichtelman, *Level Five Research: Insight 2+*, Journal AI Expert, Vol. 1, Issue 4, pp. 75-78, 1986.
32. E. Turban, J. E. Aronson, and T. P. Liang, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 7th Edition, (Prentice Hall, 2005 ).
33. S. Russel and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition, (Prentice hall, 2010).

34. V. Petrović and V. Bočvarski, *Expert System for threshold spectra analysis of nitrogen molecules*, International Journal of Modern Physics C, Vol. 16, No. 9, pp. 1395-1407, 2005.
35. V. Petrović, V. Bočvarski and I. Petrović, *Expert System for threshold spectra analysis of SO<sub>2</sub> molecules*, International Journal of Modern Physics C, Vol. 18, No. 7, pp. 1133-1148, 2007.
36. V. Petrović and V. Bočvarski, *Expert System for threshold spectra analysis*, International Journal of Modern Physics C, Vol. 14, 2003.
37. I. Petrović, V. Petrović and V. Bočvarski, *The Expert System For Analysis Of Electron Energy-Loss Spectra*, Journal of Physics: Conference Series 133, pp. 1-8, 2008.
38. I. Petrović, V. Petrović, D. Krstić, D. Nikezić and V. Bočvarski, *Expert System in Nuclear Metrology*, International Journal of Modern Physics C, Vol. 19, No. 11, pp. 1763-1777, 2008.
39. V. Cvjetković, V. Bočvarski, and B. Radenković, *Expert system for analysis of electron - atom scattering energy loss spectra*, Expert Systems With Applications, Vol 14, No 3, pp. 275-282, 1998.
40. <http://www.scribd.com/doc/262934025/Aristotel-Organon#scribd>
41. I. Kant, *The critique of pure reason*, 1781; dostupno na <http://www.gutenberg.org/files/4280/4280-h/4280-h.htm>.
42. <http://philosophy.tamu.edu/~sdaniel/Notes/epi-kant.html>
43. S. H. Bach, M.F. Moens, L. Getoor, M. De Cock, *Extending PSL with Fuzzy Quantifiers Golnoosh Farnadi*, Statistical Relational AI: Papers from the AAAI-14 Workshop, 2014.
44. L. A. Zadeh, *A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages*, Computers & Mathematics with Applications, Vol. 9, Issue 1, pp. 149-184, 1983.
45. J. Leibowitz, *The handbook of applied expert systems*, (CRC Press, USA, 1997).
46. Sir A. I. Conan Doyle, *A Study in scarlet*, 1887.
47. J. C. Giarratano and G. D. Riley, *Expert Systems: Principles and Programming*, Fourth Edition, (PWS Publishing Company, Boston, 2004)
48. J. Mrozek, *Physics Essays*, Vol. 24, p. 192, 2011.

49. I. Petrović, *Ekspertni sistem za analizu spektara u nuklearnoj fizici*, (Magistarska teza, Univerzitet u Kragujevcu, 2009).
50. Š. S. Miljanić, *Udžbenik nuklearne hemije*, (Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 2008).
51. S. Forkapić, *Istraživanje gasovitih radioaktivnih produkata uranijuma i torijuma*, (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, 2013).
52. R. Kljajić, M. Kovačević, R. Mitrović, *Zaštita ljudi i drugih živih bića od jonizujućih zračenja*, Zbornik radova, XXII simpozijum JDZZ, Petrovac na Malvi, 2003.
53. I. Petrović, V. Petrović, V. Bočvarski, D. Krstić and D. Nikezić, U.P.B. Sci. Bull., Series A, Vol. 77, Iss. 3, 285, 2015.
54. V. Petrović, *Ekspertni sistem za analizu elektronskih spektara atoma i molekula*, (Doktorska disertacija teza, Univerzitet u Kragujevcu, 2007).

## **БИОГРАФИЈА**

Мр Иван Петровић је рођен 30. 08. 1972. године у Крагујевцу где је стекао основно, средње и високо образовање.

На Природно-математичком факултету, студијска група физика, смер физика информатика, Универзитета у Крагујевцу дипломирао је 2007. године са просечном оценом 8,39.

Исте године, на групи Физика, уписао је магистарске студије, смер Информатика. У оквиру магистарских студија полагао је испите предвиђене планом и програмом: пројектовање програма, аквизиција података, информациони системи, експертни системи и оперативни системи.

Магистарски рад под називом “Експертни систем за анализу спектра у нуклеарној физици” одбранио је 2009. године и стекао звање Магистра физичких наука.

Од 2015. године ради као предавач на Високој техничкој школи струковних студија у Крагујевцу.



## Листа радова

### 1. Магистарска теза

- 1.1. “Експертни систем за анализу спектра у нуклеарној физици ”, ПМФ Крагујевац, 2009. година.

### 2. Радови у међународним часописима

- 2.1.V. Petrović, V. Bočvarski and **I. Petrović**, “*Expert System For Threshold Spectra Analysis Of SO<sub>2</sub> Molecules*”, International Journal of Modern Physics C, Vol. 18, No. 7, 1133-1148, (2007), ISSN: 0129-1831, [M22].
- 2.2.**Ivan Petrović**, V. Petrović, D. Krstić, D. Nikezić and V. Bočvarski, “Expert System For Analysis Of Spectra In Nuclear metrology“, International Journal of Modern Physics C, Vol. 19, No. 11, 1763-1775, (2008), ISSN: 0129-1831, [M22].
- 2.3.**Ivan Petrović**, V. Petrović and V. Bočvarski, “The Expert System For Analysis Of Electron Energy-Loss Spectra“, Journal of Physics: Conference Series 133, 1-8, (2008), ISSN: 1742-6588, [M31].
- 2.4.**I. Petrović**, V. Petrović, V. Bočvarski, D. Krstić and D. Nikezić, Expert System For Analysis of Spectra of Natural Radionuclides, U.P.B. Sci. Bull., Series A, Vol. 77, Iss. 3, 285, (2015), ISSN: 1223-7027, [M23].
- 2.5.**I. Petrović**, V. Bočvarski and V. Petrović, Expert System in physics:Methodology and application, Physics Essays 29, Vol.1, 49-56 (2016); DOI: 10.4006/0836-1398-29.1.49, [M23].

### 3. Радови на међународним конференцијама

- 3.1.V. Petrovic, V. Bocvarski and **I. Petrovic**, *Expert System For Threshold Spectra Analysis Of SO<sub>2</sub> Molecules, 23rd Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Kopaonik, (2006), 79-82, ISBN 86-82441-18-7* [M33].
- 3.2.**Ivan Petrović**, V. Petrović and V. Bočvarski, “ The Expert System For Analysis Of Atom and Molecule Threshold Spectra“, *23rd Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Novi Sad, 131-134, (2008), ISBN 978-86-80019-2* [M33].

Радови проистекли из тезе.

## EXPERT SYSTEM FOR ANALYSIS OF SPECTRA OF NATURAL RADIONUCLIDES

IVAN PETROVIĆ<sup>1</sup>, VIOLETA PETROVIĆ<sup>2</sup>, VALERIJ BOČVARSKI<sup>3</sup>,  
DRAGANA KRSTIĆ<sup>4</sup>, DRAGOSLAV NIKEZIĆ<sup>5</sup>

*The phenomenon of radioactivity is tied to the appearance of different types of radiation which are closely connected with radioactive decay of certain elements i.e. their isotopes. These elements by migration arrive in the water, then plants, and so become the part of natural food chain and finally they end in a human body. It is clear that the monitoring of the degree of presence of radioactive elements in all factors of human environment is crucial. In this paper is described the expert system developed to perform analysis of the spectra of natural radionuclides with the aim to determine activities of individual natural radionuclides.*

**Keywords:** expert system, spectra, radiation, natural radionuclides.

### 1. Introduction

The phenomenon of radioactivity is tied to the appearance of different types of radiation which are closely connected with radioactive decay of certain elements i.e. their isotopes. On Earth exist 330 isotopes that originate from 90 chemical elements. The largest number of isotopes is stable, exactly 270. Elements beginning with bismuth (Bi, Z=83) and ending with uranium (U, Z=92) do not have stable isotopes at all. Out of the total number of unstable isotopes, 45 of them are members of the three known natural radioactive series. The remaining 15 are isotopes of lighter elements, of which the <sup>40</sup>K is the one most known.

Beside the fact that the presence of radioactive radionuclides in the ground can be consequence of natural process (as the part of those elements is there since the creation of Earth), one part of them reaches the ground as consequence of numerous human activities.

Independently of the way they reached the ground, these elements by migration arrive in the water, then plants, and so become the part of natural food chain and finally they end in a human body. It is clear that the monitoring of the degree of presence of radioactive elements in all factors of human environment is crucial.

<sup>1</sup> Higher School, Kragujevac University, Serbia, e-mail: kgivanchuk@gmail.com

<sup>2</sup> Faculty of Science, Kragujevac University, Serbia, e-mail: violeta.petrovickg@gmail.com

<sup>3</sup> Faculty of Science, Kragujevac University, Serbia, e-mail: valerij.bocvarski@gmail.com

<sup>4</sup> Faculty of Science, Kragujevac University, Serbia, e-mail: dragana@kg.ac.rs

<sup>5</sup> Faculty of Science, Kragujevac University, Serbia, e-mail: nikezic@kg.ac.rs

## Expert systems in physics: Methodology and application

1 Ivan Petrović, Valerij Bočvarski, and Violeta Petrović<sup>a)</sup>  
 2 Faculty of Science, Department of Physics, Radoja Domanovića 12, Kragujevac University,  
 3 34000 Kragujevac, Serbia

4 (Received 14 February 2015; accepted 28 December 2015; published online xx xx xxxx)

5 **Abstract:** This paper deals with the expert systems, primarily their methodology but also the  
 6 application. In order to produce reasoning, expert systems are based on logic which provides a  
 7 systematic framework that emulates the decision-making ability of a human expert. Propositional  
 8 logic is basic human logic which as such can be expressed in the form of syllogism, greatest Aristot-  
 9 le's invention in logic. Basically, it consists of three elements: premise 1, premise 2, and conclu-  
 10 sion. This form is used as a template for the basic structural element of expert systems, a "rule."  
 11 Through rules, we implemented expert knowledge and experience in the expert systems resulting  
 12 in quantitative and qualitative improvement of analysis of measured data in different areas of  
 13 physics (atomic, molecular, and nuclear). In the paper, we have also demonstrated a developed  
 14 methodology that is essentially based on the process of identification and classification of peaks,  
 15 which results in the reduction of the time needed for analysis of spectra. At the same time, the  
 16 methodology described permits identification of peaks whose intensities are of the order of noise  
 17 and which remain unidentified when using classical analysis. © 2016 Physics Essays Publication.  
[\[http://dx.doi.org/10.4006/0836-1398-29.1.49\]](http://dx.doi.org/10.4006/0836-1398-29.1.49)

18 **Résumé:** Cet article traite les systèmes experts, notamment leur méthodologie et leur application.  
 19 Afin de „motiver“ le raisonnement, les systèmes experts sont fondés sur la logique qui fournit un  
 20 cadre/champ d'application systématique qui émule la capacité de prendre la décision d'un expert  
 21 humain. La logique „propositionnelle“ est une logique humaine fondamentale qui, en tant que telle,  
 22 peut être exprimé sous la forme d'un syllogisme, la plus grande invention dans la logique  
 23 d'Aristote. Essentiellement, un syllogisme est composé de trois éléments: Prémisse 1, Prémisse 2  
 24 et la conclusion. Cette forme „de la pensée“ (de raisonnement) est utilisée comme le modèle pour la  
 25 structure de l'élément fondamental et constitutif des systèmes d'experts – c'est-à-dire règle. En  
 26 utilisant les règles, on a appliqué les connaissances d'experts et leur expérience sur le thème des  
 27 systèmes experts. Cela a résulté par une amélioration qualitative et quantitative du processus  
 28 d'analyse expérimentale prise dans divers domaines de la physique (atomique, moléculaire et  
 29 nucléaire). Dans ce document nous avons expliqué également la méthodologie du processus  
 30 d'identification et classification des pics, qui a eu pour le résultat la réduction du temps nécessaire  
 31 pour faire l'analyse du spectre. En même temps, la méthodologie décrite permet l'identification des  
 32 pics dont les intensités sont dans le domaine de bruit et restent non identifiés si on utilise le  
 33 processus d'analyse classique.

34 **Key words:** Expert System; Syllogism; Knowledge; Spectral Analysis.

### 35 I. INTRODUCTION

36 The phrase “artificial intelligence” is often associated  
 37 with the phrase “expert system.” Because of that it can seem  
 38 weird why this most attractive part does not appear in the  
 39 article's title. The reason is quite simple. The phrase artificial  
 40 intelligence is actually a pleonasm because only produced  
 41 intelligence exists. This paper will deal with expert knowl-  
 42 edge which can be systematized and automatized.

43 An expert system is a type of system that usually has a  
 44 knowledge base containing accumulated experience and  
 45 a set of rules for applying the knowledge base to each

46 particular solution. Using artificial intelligence techniques in  
 47 problem-solving processes supports human decision-making,  
 48 learning, and action, and at the same time, eliminates  
 49 subjective influences. Development of expert systems is very  
 50 different from conventional software development. Conven-  
 51 tional computer programs make use of well-structured  
 52 algorithms and data structures to find solutions for some  
 53 problem. For difficult problems with which expert systems  
 54 are concerned, it may be more useful to employ heuristics,  
 55 i.e., small fragments of human know how “put” into a  
 56 knowledge base, and use them to reason through a problem.

57 The increased interest is determined by the possibility of  
 58 their application to problems of different fields of human  
 59 activity.

<sup>a)</sup>violeta.petrovick@gmail.com



## The expert systems for analysis of electron energy-loss spectra

Ivan Petrović, Valerij Bočvarski and Violeta Petrović

Department of Physics, Faculty of Science, Kragujevac, Serbia

violeta.petrovickg@gmail.com

**Abstract.** In this paper is presented development of the expert systems for threshold spectra analysis, starting from firstly developed expert system for atom threshold spectra analysis, up to the expert system for analysis more complex molecule threshold spectra (firstly two-atomic and then tree-atomic molecules). The goal of the expert systems application is to automate, speed up and improve process of spectra analysis. Interest for threshold spectra originates from the fact that, by studding them, it is possible obtained information about processes which happened on energies near reaction threshold. Also, in these spectra can be seen peaks that correspond to forbidden transitions and which can't be seen in the optical spectroscopy. For testing of the expert systems, we used the threshold spectra for the He atom, and N<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> molecules. All these spectra are obtained on threshold spectrometer in Institute of Physics in Zemun (Laboratory for Atomic Collision Processes).

### 1. Introduction

In process of studying atomic and molecular collision processes, the threshold spectroscopy method takes important place [1]. With this method is performed a detection of electrons with "zero" energy, i.e. electrons which have lost their incident energy in the non-elastic collisions. Because of that, by using a specific configuration of electric field, it is possible to separate aforementioned electrons from the others. With this is accomplished that a process is examined on reaction threshold, hence the name of this method. The importance of this method originates from the fact that it enables a detection of excited as well as vibrational states, along with a recognizing of resonant states.

Expert systems presented in this paper are developed based on the backward chaining methodology and with a goal to analyze spectra obtained by threshold spectroscopy. For their development is used ESBT I2+ which in process of conclusion uses the aforementioned methodology that starts with goal and goes toward data. One of advantages of this methodology is that there is no conflict resolution, which can be complicated factor in process of practical exploitation of one expert system.

In the case of threshold spectra analysis, which can be generalized on all kind of spectra in electron spectroscopy, an application of ES enables the following: an *estimation* of usability of experimentally obtained spectra for future analysis, *selective extraction* of physical events from events that originate from noise, *identification of an energy states* of atoms and molecules whose spectra are recorded, and *analysis* of identified states, with an aim to separate the vibrational levels and resonances.

### 2. Experiment

Characteristic threshold spectra, which are used in process of ES development and testing, are obtained with threshold spectrometer in Institute of Physics in Zemun (Laboratory for Atomic

ОБРАЗАЦ 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а ИВАН ПЕТРОВИЋ  
број уписа \_\_\_\_\_

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом  
ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМИ У ФИЗИЦИ: МЕТОДОЛОГИЈА И  
РЕМИЗАЦИЈА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Крагујевцу, 1 III 2016.

Иван Петровић

**ОБРАЗАЦ 2.**

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

Име и презиме аутора ИВАН ПЕТРОВИЋ  
Број уписа \_\_\_\_\_  
Студијски програм \_\_\_\_\_  
Наслов рада ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМИ У ОБЛАСТИ: МЕТОДОЛОГИЈА И РЕАЛИЗАЦИЈА  
Ментор ПРОФ ДР ВАСИЈЕ БОЧВАРСКИ

Потписани ИВАН ПЕТРОВИЋ

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Крагујевцу.

Потпис аутора

У Крагујевцу, 1 III 2016

Иван Петровић

**ОБРАЗАЦ 3.**

**Изјава о коришћењу**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Крагујевцу унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМИ У ФИЗИЦИ: МЕТОДОЛОГИЈА И РЕАЛИЗАЦИЈА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Крагујевцу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство - некомерцијално - без прераде
4. Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, чији је кратак опис дат је на обрасцу број 4.).

**Потпис аутора**

У Крагујевцу, 1 III 2016





#### **ОБРАЗАЦ 4.**

**1. Ауторство -**

Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

**2. Ауторство – некомерцијално.**

Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

**3. Ауторство - некомерцијално – без прераде.**

Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

**4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима.**

Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

**5. Ауторство – без прераде.**

Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

**6. Ауторство - делити под истим условима.**

Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.